



**Helena Isabel Pereira
de Almeida**

**Melhoria de processos numa empresa
metalomecânica do setor automóvel**



**Helena Isabel Pereira
de Almeida**

**Melhoria de processos numa empresa
metalomecânica do setor automóvel**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos
Professora auxiliar da Universidade Nova de Lisboa

Prof. Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

agradecimentos

Ao longo deste projeto, o apoio que recebi por parte de algumas pessoas foi fundamental, de maneira que pretendo aqui expressar o meu profundo agradecimento.

Um agradecimento à minha família, especialmente aos meus pais e irmã, pelo apoio dado durante todo este percurso académico, e pelos valores transmitidos durante toda a minha educação, que me tornaram na pessoa que hoje sou.

Um agradecimento ao Eng. Luís Neves e à Dr.^a Patrícia Lopes, pela oportunidade de integrar a equipa e pelo apoio técnico na realização deste projeto.

Um agradecimento à professora Helena Alvelos, pelo apoio e orientação na execução deste projeto, assim como à Universidade de Aveiro.

Um agradecimento a todos os amigos que fiz, em Aveiro e em Viseu, pelas horas de estudo e de lazer.

Um agradecimento a todas as pessoas com quem estabeleci contacto na Epedal, que ao longo dos oito meses de estágio se mostraram disponíveis para contribuir com o seu conhecimento e para me auxiliarem na execução deste projeto.

Obrigada a toda família, amigos e à Epedal.

palavras-chave

Produção, melhoria de processos, redução de tempos, balanceamento.

resumo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar e implementar propostas de melhoria dos processos que permitam fazer face à variabilidade da procura e, simultaneamente, aumentando a produtividade de um conjunto de postos de trabalho, através da diminuição dos tempos de produção e/ou de paragem dos equipamentos.

Desta forma, a metodologia seguida centrou-se nas seguintes fases: (i) definição de cenários iniciais, (ii) análise dos problemas encontrados, (iii) definição de propostas de melhoria e (iv) implementação das propostas definidas. As ferramentas utilizadas ao longo do projeto foram, principalmente, *Value Stream Mapping*, *Single Minute Exchange of Die*, diagramas de *Gantt* e diagramas de processo, tendo sido possível identificar problemas como elevados tempos de tarefas de valor não acrescentado e tempos de espera consideráveis.

Com a aplicação das ferramentas referidas, foi possível reduzir o tempo de ciclo de um posto de trabalho em 22,5%, permitindo à empresa responder ao aumento da procura por parte do cliente. Foi, também, possível identificar que 9 minutos do tempo de paragem do equipamento gargalo podem ser utilizados enquanto o equipamento se encontra em funcionamento de modo a diminuir o tempo de *setup*, e criar uma sequência de produção a ser utilizada por forma a reduzir o tempo de mudanças de referência. Paralelamente, os operadores que executam as tarefas no equipamento em causa, ganharam autonomia. Por fim, o estudo feito a um conjunto de equipamentos permitiu diminuir o número de colaboradores necessários para os operar, de 6 para 2 operadores, permitindo planejar, de uma forma mais eficiente, o número de turnos necessários para fazer face às variações de consumo dos artigos em análise.

Finalmente, as várias alterações ao processo foram avaliadas estatisticamente através de testes de hipóteses aos tempos de produção, antes e depois da implementação das melhorias.

A principal conclusão deste projeto relaciona-se com a importância do conhecimento pormenorizado dos tempos das tarefas e dos tempos de ciclo, assim como da sua variabilidade, na abordagem à melhoria dos processos.

keywords

Production, process improvement, reduction time, balancing.

abstract

The aim of the present work is to and implement proposals to improve the processes to meet the variability of demand and, simultaneously, increase the productivity of a set of jobs, by reducing the production and / or stopping times of the equipment.

Thus, the methodology followed focused on the following phases: (i) definition of initial scenarios, (ii) analysis of problems encountered, (iii) definition of improvement proposals and (iv) implementation of defined proposals. The tools used throughout the project were mainly Value Stream Mapping, Single Minute Exchange of Die, Gantt diagrams and process diagrams, and it was possible to identify problems such as high non-added task times and considerable waiting times.

With the application of the mentioned tools, it was possible to reduce the cycle time of a work station by 22.5%, allowing the company to react to the increase of the customer demand. It was also possible to identify that 9 minutes of the stop time of the bottleneck equipment can be used while the equipment is in operation in order to decrease the setup time, and to create a production sequence to be used to reduce the time of reference changes. At the same time, the operators performing the tasks on the equipment in question have gained autonomy. Finally, the study of a set of equipment allowed to reduce the number of employees needed to operate them, from 6 to 2 operators, allowing to plan, in a more efficient way, the number of shifts needed to cope with variations in consumption of the articles under analysis.

Finally, the various changes to the process were statistically evaluated through hypothesis tests to production times before and after the improvements were implemented.

The main conclusion of this project is related to the importance of detailed knowledge of task times and cycle times, as well as their variability, in approach to process improvement.

Índice Conteúdos

Índice de figuras.....	III
Índice de tabelas.....	IV
Lista de anexos	IV
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 Âmbito do projeto.....	1
1.2 Enquadramento do projeto.....	2
1.3 Objetivos do projeto	2
1.4 Metodologia para a realização do projeto.....	3
1.5 Estrutura do documento	4
Capítulo 2 - Fundamentos Teóricos	5
2.1 Gestão de Operações	5
2.1.1 Conceitos Gerais.....	5
2.1.2 Tipos de Processos	6
2.1.3 Aumento da capacidade através da investigação do recurso gargalo.....	9
2.1.4 Diagrama de <i>Gantt</i>	13
2.1.5 Estudo de Tempos.....	13
2.1.6 Diagrama de Processos	15
2.1.7 Balanceamentos de linhas de produção	16
2.1.8 <i>Lean Manufacturing System</i>	17
2.1.9 <i>Agile Manufacturing System</i>	19
2.1.10 <i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	19
2.1.11 <i>Single Minute Exchange of Die (SMED)</i>	21
2.2 Gestão da Qualidade.....	22
2.2.1 Conceitos Gerais.....	22
2.2.2 Ferramentas Básicas da Qualidade	22
2.2.3 Fluxograma.....	23
2.3 Análise Estatística de Dados.....	25
2.3.1 Conceitos Gerais.....	25
2.3.2 Teste de Hipóteses	25
2.4 Processo de Soldadura	27
2.4.1 História e evolução da soldadura	27

2.4.2	Tipos de soldadura	27
Capítulo 3 – Projeto Prático		29
3.1	Apresentação da Empresa.....	29
3.2	Apresentação dos Processos Produtivos	30
3.3	Melhoria de tempos	32
3.3.1	Apresentação da célula onde se realiza o estudo	32
3.3.2	Análise dos problemas encontrados	37
3.3.3	Propostas de diminuição do tempo de marcação.....	39
3.3.4	Implementação de cenário de diminuição do tempo de marcação	40
3.3.5	Propostas de diminuição do tempo de abastecimento	40
3.3.6	Implementação de cenário de diminuição do tempo de abastecimento	41
3.3.7	Propostas de diminuição do tempo de soldadura	43
3.3.8	Implementação de cenário de diminuição do tempo de soldadura	47
3.3.9	Análise estatística dos dados recolhidos.....	48
3.3.10	Conclusões.....	50
3.4	SMED e sequência de mudanças de referência	53
3.4.1	Apresentação da situação em estudo	53
3.4.2	Análise dos problemas	54
3.4.3	Aplicação da técnica SMED	57
3.4.4	Sequência de produção.....	59
3.4.5	Conclusões.....	62
3.5	Balanceamento de linhas de produção.....	63
3.5.1	Apresentação da situação a estudar	63
3.5.2	Análise do problema	64
3.5.3	Propostas de balanceamento e implementação.....	65
3.5.4	Conclusões.....	69
Capítulo 4 – Conclusões e trabalho futuro		71
Referências		75
Anexos.....		77

Índice de figuras

Figura 2.1 - Áreas funcionais básicas das organizações	5
Figura 2.2 - Representação gráfica das estratégias de aumento da capacidade	10
Figura 2.3 - Etapas a realizar para a construção de um diagrama de <i>Gantt</i>	13
Figura 2.4 - Etapas para a realização de cronometragem.....	14
Figura 2.5 - Símbolos usados no VSM	20
Figura 2.6 - Notação utilizada na construção de fluxogramas	24
Figura 3.1 - Logotipo Epedal.....	29
Figura 3.2 - Organograma da Epedal.....	29
Figura 3.3 - Fluxograma dos processos produtivos da empresa	31
Figura 3.4 - <i>Bill of material</i> do componente em estudo	32
Figura 3.5 - Fluxograma do processo de soldadura do componente.....	33
Figura 3.6 - Representação do cenário inicial da célula de soldadura	35
Figura 3.7 - VSM do cenário inicial da célula de soldadura.....	36
Figura 3.8 - Diagrama de <i>Gantt</i> das atividades realizadas na célula de soldadura	36
Figura 3.9 - Diagrama de <i>Gantt</i> : representação dos tempos improdutivos durante os ciclos	38
Figura 3.10 - Diagrama de <i>Gantt</i> : representação dos tempos improdutivos, por recurso.....	38
Figura 3.11 - Diagrama de processo: abastecimento (cenário inicial)	41
Figura 3.12 - Diagrama de processo: abastecimento (cenário implementado).....	42
Figura 3.13 - Diagrama de processo: soldadura (cenário inicial)	43
Figura 3.14 - Representação da célula de soldadura, com a eliminação da rotação	44
Figura 3.15 - Diagrama de <i>Gantt</i> das atividades sem a rotação da mesa giratória	44
Figura 3.16 - Representação da proposta de redução do ângulo de rotação.....	45
Figura 3.17 - Representação de diagrama de <i>Gantt</i> com a diminuição do ângulo de rotação.....	46
Figura 3.18 - Diagrama de processo: soldadura (cenário implementado).....	47
Figura 3.19 - Representação do cenário melhorado da célula de soldadura.....	50
Figura 3.20 - Fluxograma após a implementação das propostas de melhoria de tempos	51
Figura 3.21 - Diagrama de <i>Gantt</i> após a implementação das propostas apresentadas	52
Figura 3.22 - VSM do cenário melhorado	52
Figura 3.23 - Esquema do equipamento em estudo	53
Figura 3.24 - Diagrama de <i>Gantt</i> para mudança de referência, com a aplicação da técnica SMED	58
Figura 3.25 - Representação do <i>layout</i> dos equipamentos em análise	63
Figura 3.26 - Análise dos tempos por operador: situação inicial	65
Figura 3.27 - Análise dos tempos por operador: cenário 1.....	66
Figura 3.28 - Análise dos tempos por operador: cenário 2.....	67
Figura 3.29 - Análise dos tempos por operador: cenário 3 a).....	68
Figura 3.30 - Análise dos tempos por operador: cenário 3 b).....	68
Figura 3.31 - Resumo dos diferentes cenários apresentados	69

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Tipos de processos de transformação.....	5
Tabela 2.2 - Diferenças entre os processos discretos	7
Tabela 2.3 - Indicadores da gestão da produção	9
Tabela 2.4 - Representação dos elementos do diagrama de processos	16
Tabela 2.5 - Ferramentas da qualidade e suas aplicações	23
Tabela 3.1 - Descrição dos elementos de trabalho para a soldadura do componente	34
Tabela 3.2 - Comparação das tarefas de abastecimento entre cenários.....	42
Tabela 3.3 - Descrição das atividades realizadas para a mudança de referência a cortar	55
Tabela 3.4 - Tempos médios de mudança de referência (em minutos)	56
Tabela 3.5 - Classificação das atividades de mudança de referência	57
Tabela 3.6 - Tabela exemplo para heurística - passo 0	59
Tabela 3.7 - Tabela exemplo para heurística - passo 1	59
Tabela 3.8 - Tabela exemplo para heurística - passo 2	60
Tabela 3.9 - Tabela exemplo para heurística - passo 3	60
Tabela 3.10 - Tempos médios de mudança de referência, com as alterações do passo 0	61
Tabela 3.11 - Tempo de ciclo das peças, por máquina	64
Tabela 3.12 - Tamanho de caixa para a realização do estudo, e tempo por caixa	65
Tabela 3.13 - Resumo da situação inicial	66
Tabela 3.14 - Resumo do cenário 1	67
Tabela 3.15 - Resumo do cenário 2	67
Tabela 3.16 - Resumo do cenário 3 a).....	68
Tabela 3.17 - Resumo do cenário 3 b).....	68

Lista de anexos

Anexo I – Análise estatística aos dados recolhidos na célula de soldadura, com recurso ao SPSS .	78
Anexo II - Folha de seguimento de produção	79

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Âmbito do projeto

Cada vez mais existe a necessidade de aumentar a produção das empresas. Isto deve-se ao facto de a procura por produtos ter uma tendência crescente de consumo, devido à utilização de produtos modulares em diferentes artigos. Estes produtos modulares são partes comuns a plataformas base, com sistemas *standards*, de forma a que todos os artigos sejam iguais e possíveis de aplicar em modelos diferentes entre si. Esta solução traz inúmeras vantagens para os fabricantes, em especial a vantagem de economizar custos de desenvolvimento e fabrico dos produtos. Por exemplo, existem diferentes modelos de *smartphones* no mercado que possuem entradas para auriculares, e apesar da diversidade de marcas para *smartphones* as entradas para auriculares são iguais entre eles. A utilização de componentes modulares vai desde utensílios básicos do dia a dia até aos artigos mais complexos como um automóvel com centenas de componentes. Assim, para diferentes modelos, existe um componente comum que para satisfazer a necessidade de consumo, tem de ser produzido em grandes quantidades.

No entanto, o aumento da procura, sem aumento de produtividade é insustentável para as empresas. Isto é, se a procura aumenta, mas as empresas não têm capacidade para fazer face à procura, existirão problemas nas quantidades entregues e prazos de entrega das encomendas, levando a paragens de linhas dos clientes por falta de componentes. Nenhuma empresa quer ser o motivo pelo qual uma linha de montagem esteve parada. Face a isto, as empresas devem procurar aumentar a capacidade de resposta à procura, mantendo o nível de qualidade e de custos dos seus componentes.

Para além disso, o aumento da capacidade sem flexibilidade pode originar excesso de produção e *stocks*, que as empresas devem evitar. A principal causa desta situação são as variações da procura. Uma empresa pode investir para aumentar a sua capacidade produtiva num momento em que a procura é crescente, sendo capaz de vender mais e aumentar os seus lucros. Contudo, poderá sofrer enormes consequências assim que a procura estabilize e a capacidade produtiva se torne excessiva. Assim sendo, a capacidade produtiva deverá ser flexível, de forma a conseguir ajustar a produção às variações da procura. Desta forma, o objetivo não é procurar ter uma capacidade que supere a procura, se esta não o necessitar. Deve-se ajustar a produção à procura atual de forma a responder com produtos e não falhar nos prazos nem nas quantidades.

O presente trabalho vem melhorar a resposta da empresa à variabilidade da procura dos clientes, aumentando a capacidade de produção dos processos para terem maior capacidade de produção e permitindo alocar pessoas em diversos turnos de forma a contornar a falta de flexibilidade que existe em grande parte das empresas.

1.2 Enquadramento do projeto

O presente trabalho é do âmbito da engenharia industrial e gestão de operações, realizado pela autora como estagiária numa empresa do setor metalomecânico, no departamento industrial, no decorrer do projeto de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro, com a duração de oito meses.

Este projeto ambiciona aumentar a produtividade de um conjunto de postos de trabalho procurando reduzir o tempo de execução das tarefas. Combinando ferramentas como *Value Stream Mapping*, *Gantt* e *Single Minute Exchange of Die* pretende-se identificar problemas como elevados tempos de tarefas de valor não acrescentado ou a utilização de tempos de espera para a realização de tarefas, permitindo converter tempos improdutivos em tempos produtivos.

Para além disso, o presente estudo pretende sensibilizar para a importância da comunicação entre os envolvidos nos processos, de forma a reduzir os tempos inoperacionais, através da identificação de tarefas a realizar à *posteriori* da paragem de equipamentos. Adicionalmente, pretende-se enfatizar a importância da criação de uma sequência de produção que permita dar autonomia ao operador para executar as suas tarefas. De forma a dar resposta às variações da procura, o documento ambiciona, através da análise a um conjunto de equipamentos onde se pretende definir o seu número mínimo de operadores para o bom funcionamento, tornar a produção mais flexível.

1.3 Objetivos do projeto

Tendo em conta o enquadramento feito no tópico anterior, o presente trabalho tem como principais objetivos:

- Aumentar a capacidade de produção de postos de trabalho;
- Diminuir tempos inoperacionais num recurso gargalo;
- Aumentar a eficiência de conjuntos de postos de trabalho;

Para alcançar os objetivos apresentados, existem objetivos específicos que são referidos de seguida:

- Aumentar a produtividade de postos de trabalho com vista a aumentar a rentabilidade do produto;
- Identificar e eliminar tempos improdutivos nas diferentes tarefas levadas a cabo para obter o produto;
- Diminuir tempo em paragens previstas, através da execução de tarefas durante o funcionamento do equipamento;
- Melhorar a sequência de produção diminuindo os tempos de espera;
- Identificar o número mínimo de operadores necessários para a operacionalidade de um conjunto de postos automáticos;

Com o presente trabalho pretende-se realçar o facto de que o estudo de tempos é uma atividade importante para identificar tarefas, quantificar o problema e traçar objetivos, com vista a melhoria do processo em estudo. Com a diminuição de tempos de operação é possível alocar

outras tarefas aos recursos disponíveis, aumentando a rentabilidade do processo, trazendo benefícios para a organização.

Também se pretende realçar que o conceito de recurso gargalo deve estar sempre presente nas organizações, como algo a procurar melhorar. Isso requer uma boa identificação do mesmo, para não traçar um cenário pior do que o definido.

A combinação de ferramentas de identificação e/ou resolução de problemas permite detetar problemas e desperdícios, com vista a melhoria dos processos. A melhoria dos processos levará ao aumento da capacidade produtiva e ao aumento da satisfação dos colaboradores.

1.4 Metodologia para a realização do projeto

Para concretizar o propósito do presente projeto, inicialmente levou-se a cabo uma pesquisa bibliográfica, tendo como principal tópico de pesquisa gestão da produção, aliado com gestão da qualidade, com o objetivo de identificar as ferramentas utilizadas para identificar problemas.

Para relacionar os conceitos teóricos com o problema prático, foram recolhidas informações dos colaboradores da empresa, envolvidos no processo que se pretende melhorar. Isto permitiu definir o cenário inicial dos processos analisados neste projeto.

Posteriormente, são identificados os problemas dos postos de trabalho, em que os mesmos são resolvidos a partir de metodologias de melhoria de processos, como o diagrama de processos para encontrar tarefas desnecessárias.

De seguida, implementaram-se ações que permitiram colmatar os problemas identificados e melhorar os diferentes postos de trabalho, nos quais se desenvolveu o estudo.

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos divide-se em:

- Pesquisa bibliográfica;
- Caracterização do cenário inicial do posto de trabalho, através de recolha de tempos de tarefas;
- Identificação e análise dos principais problemas encontrados;
- Procurar metodologias para resolver os problemas encontrados;
- Dentro das atividades levadas a cabo pelos robôs/equipamentos do posto de trabalho:
 - Procurar formas de aumentar a sua produtividade e capacidade de produção;
 - Reduzir o impacto de paragens planeadas;
- Dentro das atividades levadas a cabo pelos operadores:
 - Procurar formas de aumentar a sua produtividade e capacidade de produção;
 - Procurar balancear o trabalho entre os operadores;
- Escolher os cenários a implementar no posto de trabalho;
- Planear a implementação dos cenários escolhidos;
- Implementar cenários escolhidos;
- Avaliar os resultados da implementação das melhorias no processo;

1.5 Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em quatro partes: (1) Introdução, (2) Estado de Arte, (3) Projeto Prático e (4) Conclusão e trabalho futuro. Assim, para além do presente capítulo introdutório, existem outros três que seguidamente se resumem.

O segundo capítulo é dedicado à apresentação de conceitos com vista a constituir um enquadramento teórico ao projeto. Este capítulo reflete a pesquisa efetuada sobre os temas Gestão de Operações e Gestão da Qualidade. A componente estatística é abordada neste capítulo face aos dados trabalhados estatisticamente ao longo do projeto. Adiciona-se, ainda, um tópico referente à soldadura, dado que, a maior parte do trabalho incide num posto de soldadura.

No terceiro capítulo é aplicado o conhecimento adquirido em postos de trabalho da empresa Epedal. A empresa é apresentada bem como os seus processos produtivos. Este capítulo subdivide-se noutras 3 secções, devido ao facto de serem analisados postos de trabalho diferentes e metodologias diferentes para a resolução dos problemas identificados. Em cada secção é apresentado o cenário inicial, a análise dos problemas encontrados e propostas de melhoria. Sempre que foi possível implementar, é apresentado o cenário melhorado bem como as conclusões retiradas.

Por fim, o quarto capítulo é reservado às Conclusões onde também é apresentada uma reflexão sobre o trabalho realizado e algumas sugestões para trabalho futuro.

Capítulo 2 - Fundamentos Teóricos

2.1 Gestão de Operações

2.1.1 Conceitos Gerais

A área da gestão de operações é a parte da organização responsável pela produção de bens e/ou fornecimento de serviços, envolvendo o planeamento e coordenação dos recursos de forma a converter *inputs* em *outputs*. A gestão de operações é, desta forma, uma das três áreas funcionais básicas de qualquer organização. As outras duas são o marketing e as finanças, como apresentado na Figura 2.1 (Stevenson, 2005).

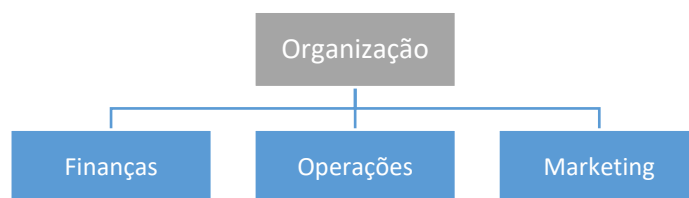


Figura 2.1 - Áreas funcionais básicas das organizações
Fonte: Adaptado de Stevenson, 2005, p.7

A gestão das operações pode ser definida como sendo a gestão de sistemas ou processos de transformação com o objetivo de criar bens e/ou serviços (Stevenson, 2005). Existem diversos tipos de processos de transformação, entre os quais os processos físicos que são utilizados na fabricação onde um produto físico é transformado de forma a obter as características pretendidas pelo cliente. Outros processos são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipos de processos de transformação
Fonte: Adaptado de Stevenson, 2005, p.7

Físicos	<i>Fabricação</i>
Localização	<i>Transporte/armazenamento</i>
Troca	<i>Vendas</i>
Fisiológicos	<i>Cuidados de Saúde</i>
Psicológicos	<i>Entretenimento</i>
Informação	<i>Comunicações</i>

As principais funções da gestão de operações são (Stevenson, 2005):

- Desenvolver a estratégia;
- Assegurar a qualidade;
- Gerir a cadeia de abastecimentos;
- Prever a procura dos bens e serviços;
- Projetar bens e serviços;
- Planear o processo produtivo;
- Projetar o trabalho e as tarefas (operações de produção);
- Planear a implantação fabril / fluxo de materiais;
- Planear, controlar e sequenciar a produção.

As funções relacionadas com o projeto de bens e serviços têm como base receber informações do mercado relativamente aos requisitos dos consumidores e estabelecer as especificações dos produtos a serem produzidos. Relativamente ao planeamento dos processos produtivos, é necessário estabelecer a sequência de operações necessárias para converter as matérias primas em componentes e para montar esses mesmos componentes de modo a obter os produtos finais (Stevenson, 2005).

Para a realização das atividades relacionadas com o planeamento da implantação e/ou fluxo de materiais, é necessário assegurar que os materiais são transportados nas instalações industriais. Pretende-se obter a melhor disposição relativa dos recursos produtivos na área fabril para otimizar movimentos (Stevenson, 2005).

De modo a planear, controlar e sequenciar a produção, é necessário combinar informações acerca da procura dos produtos, capacidade de produção e níveis de existências disponíveis. São utilizados indicadores com o objetivo de monitorizar e controlar a exequibilidade do plano de produção, apresentados nas secções seguintes (Stevenson, 2005).

2.1.2 Tipos de Processos

De forma a projetar a produção de produtos, existem diferentes tipos de processos que procuram responder à variedade de produtos, ao grau de flexibilidade dos equipamentos e ao volume de *output* esperado. Assim sendo existem dois tipos de processo: processos contínuos e processos discretos (Esmaeilian, Behdad, & Wang, 2016; Stevenson, 2005).

Estes dois tipos de processos distinguem-se na medida em que os processos contínuos se caracterizam por serem destinados a produtos a granel, com volumes de produção elevados, utilizados em produtos altamente padronizados e produzidos em equipamentos pouco flexíveis à mudança. Os processos contínuos são utilizados, por exemplo, em refinarias, na produção de pasta de papel e na distribuição de eletricidade (Stevenson, 2005).

Os processos discretos têm como principal diferença o facto de os produtos transformados serem unitários e não em granel. Os processos discretos são possíveis de se dividirem em 4 categorias: projeto, *job-shop*, lotes e repetitivo. As diferenças entre as 4 categorias de processos discretos são apresentadas na Tabela 2.2 (Stevenson, 2005).

Tabela 2.2 - Diferenças entre os processos discretos
 Fonte: Adaptado de Stevenson, 2005, p.221

	PROJETO	JOB-SHOP	LOTES	REPETITIVO
TIPO DE PRODUTOS	Produto único	Produtos personalizados	Produtos semi estandarizados	Estandarizados
VARIEDADE DE TAREFAS	Muito elevada	Moderada	Baixa	Muito baixa
FLEXIBILIDADE DO PROCESSO	Muito elevada	Moderada	Baixa	Muito baixa
CUSTO UNITÁRIO	Muito elevado	Moderado	Baixo	Muito baixo
VOLUME DE OUTPUT	Muito baixo	Baixo	Elevado	Muito elevado
EXEMPLOS	Construção de edifícios, consultoria	Urgências médicas, produção de ferramentas	Indústria alimentar, viagens de avião	Linhas de montagem de automóveis, lavagem automática de automóveis

Cada tipo de organização deve adequar a sua produção ao produto que fabrica, através dos diferentes tipos de processos apresentados, de modo a tentar produzir de acordo com o processo com o qual se identifica. De forma a monitorizar o desempenho dos processos produtivos, existem diferentes indicadores como a produtividade, *takt time* e tempo de ciclo, que são apresentados nos tópicos seguintes.

2.1.2.1 Produtividade

A produtividade é a medida de eficiência usada para medir o uso dos recursos, que expressa a proporção entre as saídas e as entradas (Stevenson, 2005).

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

A produtividade tem bastantes implicações para o negócio da organização. Para organizações sem fins lucrativos, a alta produtividade significa baixos custos. Para organizações com fins lucrativos a produtividade é bastante importante para medir a posição estratégica da empresa (Stevenson, 2005).

Existem diferentes formas de medir a produtividade. No ambiente produtivo, podemos medir a produtividade de um operador através das unidades produzidas por hora de trabalho ou unidades produzidas por turno ou valor acrescentado por hora. Também podemos medir a produtividade das máquinas através das unidades produzidas por hora-máquina ou lucro da peça por hora-máquina. Nos serviços, como a energia elétrica, podemos medir a produtividade por unidades de energia por quilowatt-hora ou custo por quilowatt-hora (Stevenson, 2005).

2.1.2.2 Tempo de Ciclo

O tempo de ciclo corresponde ao tempo entre duas peças sucessivas e é definido pela operação mais lenta ou crítica (Pinto, 2014). Normalmente, cada posto de trabalho possui tempos de trabalhos diferentes. Uma máquina pode demorar 2 minutos a processar um componente enquanto que a máquina seguinte pode demorar 3 minutos e a seguinte demorar apenas 1 minuto. Sendo assim, o tempo de ciclo não é o somatório dos tempos, nem os tempos de forma individual. O tempo de ciclo é dado pelo tempo de execução de tarefas ou operações ou de máquinas que forem mais lentos (Stevenson, 2005).

Na produção, os recursos que forem mais lentos são conhecidos como recursos gargalos. Estes recursos limitam a capacidade final de produção, ou seja, limitam a quantidade de produtos disponibilizados aos clientes (Stevenson, 2005).

2.1.2.3 Takt Time

O *takt time* corresponde ao ritmo de produção necessário para responder à procura, ou seja, o quociente entre o tempo de produção que se tem disponível e o número de unidades a serem produzidas em função da procura. É a medida que nos diz de quanto em quanto tempo deve sair um produto acabado das linhas de produção para satisfazer a procura do cliente (Black, 2007).

A fórmula é:

$$\text{Takt Time } \left(\frac{\text{segundos}}{\text{unidade}} \right) = \frac{\text{Tempo de Trabalho Disponível (segundos)}}{\text{Quantidade Procura pelo cliente (unidades)}}$$

O tempo de ciclo é um fator limitador do *takt time*, isto porque o tempo de ciclo é determinado pelo recurso gargalo e não pelo ritmo da linha em função do tempo disponível e da procura diária. Assim sendo, podemos dizer que o tempo de produção será sempre limitado pela capacidade (tempo de ciclo) ou pela procura (*takt time*) (Alvarez & Antunes Jr., 2001; Stevenson, 2005).

De forma a otimizar os processos, as organizações devem sempre combinar estes dois indicadores. Caso o *takt time* seja maior do que o tempo de ciclo, significa que o processo medido ainda tem capacidade para realizar outras tarefas. Também é possível que o tempo de ciclo seja superior ao *takt time*. Neste caso, a produção não está a responder à procura necessária e poderá originar problemas nos prazos e quantidades a entregar aos clientes. Face a isto, o objetivo será melhorar o processo aproximando o tempo de ciclo do *takt time* (Alvarez & Antunes Jr., 2001). Este assunto será explorado com mais detalhe no tópico 2.1.6.

A Tabela 2.3 resume os 3 indicadores referidos anteriormente.

Tabela 2.3 - Indicadores da gestão da produção

	PRODUTIVIDADE	TEMPO DE CICLO	TAKT TIME
OBJETIVO	Medir a eficiência dos recursos	Medir o tempo de execução de uma peça	Ritmo de produção necessário para responder à procura
FORMULA MATEMÁTICA	$\frac{Output}{Input}$	$\frac{Quant. Produzida}{Tempo Produtivo}$	$\frac{Tempo Disponível}{Quant. Procura}$

Estes indicadores também permitem detetar problemas que, de outra forma, poderiam não ser conhecidos como, por exemplo, a identificação e exploração do recurso gargalo, que será analisado de seguida.

2.1.3 Aumento da capacidade através da investigação do recurso gargalo

Existem três situações possíveis que relacionam a capacidade produtiva com a procura dos produtos. A primeira é quando a capacidade produtiva é superior à procura dos produtos, permitindo às empresas responderem facilmente ao mercado, mas escondendo problemas como elevados *stocks* de produtos. A segunda acontece quando a capacidade produtiva é igual ou próxima da procura, situação de instabilidade para as empresas pois qualquer problema imprevisto pode levar a falta de capacidade produtiva. A terceira situação é quando a capacidade produtiva é inferior à procura (Martins, 2009).

Sendo assim, a capacidade de produção é um dos fatores que interfere na competitividade da empresa. Isto é, determina a taxa de resposta da empresa ao mercado, pondo em causa a estrutura de custos, a composição da força de trabalho, o nível de tecnologia, as exigências de gestão e as estratégias de *stocks* (Martins, 2009).

Posto isto, é importante ajustar a capacidade de produção à procura dos clientes. O ajuste é uma atividade muito dinâmica dado que as flutuações ocorrem muito rapidamente exigindo resultados quase imediatos para evitar que as consequências da insuficiência de capacidade produtiva se tornem realidade (Martins, 2009).

Existem diversos autores e estudos que dão ênfase ao recurso gargalo, como objeto de melhoria. Existem várias técnicas para abordar o problema do recurso gargalo, publicadas por diversos autores que se aplicam a diferentes situações. Essas técnicas são (Martins, 2009):

- Técnica 1 Mudança de rutura nas condições atuais;
- Técnica 2 Automação e/ou mecanização;
- Técnica 3 Avaliação do valor agregado;
- Técnica 4 Compra da atividade gargalo a terceiros;
- Técnica 5 Compra de mais equipamentos;
- Técnica 6 Eliminação de períodos de tempo mortos no gargalo;
- Técnica 7 *Stock* a proteger o gargalo;
- Técnica 8 Produção de parte ou totalidade da operação gargalo noutra equipamento da empresa;
- Técnica 9 Melhoria da qualidade que afeta a produção do gargalo;

- Técnica 10 Melhoria na manutenção do equipamento gargalo;
- Técnica 11 Melhoria do sistema de alimentação do gargalo;
- Técnica 12 Redução da duração da troca de ferramenta no gargalo;
- Técnica 13 Redução do tempo de ciclo da restrição.

A técnica 1 é relatada como mudanças radicais para obter resultados. Quando se vão aplicando melhorias ao processo chega-se a uma fase de estagnação em que é necessário pensar fora da caixa e fazer mudanças completas para obter melhores resultados (Martins, 2009).

A técnica 2 (automação e/ou mecanização) é utilizada geralmente em atividades repetitivas que são aperfeiçoadas se forem realizadas mais rapidamente. Os casos mais usuais da aplicação de automação e /ou mecanização para redução do impacto do recurso gargalo são no manuseio de componentes, reduzindo o risco de variações de produção, como o tempo em movimentos e erros e defeitos no fabrico (Martins, 2009).

O processo deve passar por uma avaliação sobre o valor acrescentado ou não para o cliente. Com a técnica 3, as etapas que não acrescentam valor na perspetiva do cliente devem ser eliminadas, contribuindo para uma maior eficiência do processo (Martins, 2009).

Quando o gargalo impede o bom funcionamento produtivo, fazer com que parte do trabalho realizado no gargalo seja feito por outra empresa leva a que o gargalo deixe de limitar o funcionamento da empresa. A técnica 4 também é usada quando a procura é maior do que a capacidade produtiva, durante um intervalo de tempo, sendo possível uma redução num futuro próximo. A necessidade de aumento de capacidade imediata leva, assim, à utilização da técnica por parte da produção (Martins, 2009).

A técnica 5 é colocada em prática através da compra de mais equipamentos que realizam uma das operações realizadas pelo gargalo. Esta prática leva a um aumento de capacidade, tanto por ter mais um equipamento a realizar a operação como por ter um equipamento suplente, reduzindo assim a incerteza. Existem três estratégias para o aumento da capacidade de produção de uma empresa através da compra de novos equipamentos (Martins, 2009):

- Estratégia pró-ativa: a administração antecipa o crescimento futuro e prepara-se com o aumento da capacidade para responder ao aumento da procura que acontecerá. A Figura 2.2 (a) representa o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia;
- Estratégia reativa: a administração aguarda o crescimento futuro e depois investe em novos equipamentos. A Figura 2.2 (b) representa o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia;
- Estratégia neutra: a administração adota uma estratégia intermédia entre a pró-ativa e a reativa. A Figura 2.2 (c) mostra o comportamento da capacidade produtiva nesta estratégia.

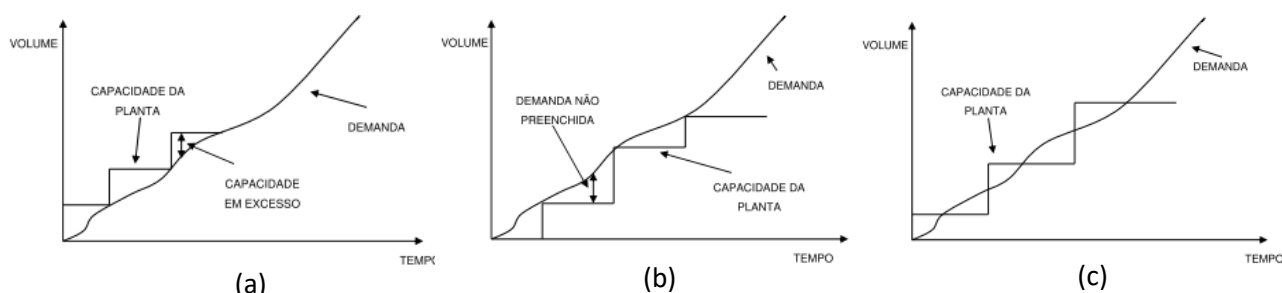


Figura 2.2 - Representação gráfica das estratégias de aumento da capacidade

Fonte: Martins, 2009, p. 75-76

A técnica 6 procura eliminar ou reduzir ao mínimo os períodos de tempo em que o gargalo para de exercer a sua atividade. Exemplos de momentos nos quais isto ocorre são paragens da máquina para almoço do operador, troca de turnos, paragem para café, questões ergonómicas e idas ao WC. Nestes casos não é possível aumentar a capacidade do recurso gargalo se a presença do operador é um fator de funcionamento do mesmo. Devem-se investigar formas de distanciar o funcionário da máquina sem que esta deixe de operar, como escalar pessoas para estarem na máquina enquanto outro operador faz paragens para as refeições, por exemplo (Martins, 2009).

A utilização de *stocks* antes do gargalo é a técnica 7, onde o objetivo é reduzir e/ou eliminar a dependência da operação gargalo do desempenho das operações a montante do fluxo produtivo. Assim, problemas nas operações anteriores ao gargalo não causarão a imediata paragem do gargalo. O *stock* também é permitido à frente do gargalo, sendo que o gargalo não parará caso exista algum problema nas operações a jusante (Martins, 2009).

Como forma de aumentar a capacidade produtiva a transferência de uma atividade que é realizada num equipamento/recurso gargalo para outro equipamento da empresa, é a técnica 8. Deve-se ter em conta que a operação não deve passar para um gargalo ainda mais restritivo que o anterior. É recorrente dividir a operação gargalo em várias subactividades (Martins, 2009).

A técnica 9 atribui a prioridade à qualidade quando esta afeta a produção do gargalo. As rejeições e retrabalho reduzem a capacidade de produção. Assim sendo devem ser utilizadas ferramentas de melhoria e controlo da qualidade para prevenir, reduzir e eliminar os retrabalhos e rejeições do processo que reduzem a capacidade de produção. Técnicas como cartas de controlo, diagrama causa efeito, *six sigma* podem ser utilizadas para maximizar o desempenho do gargalo. Cada ciclo do gargalo que cria uma peça para ser retrabalhada ou rejeitada é um ciclo perdido, que não gera ganhos para a empresa. É importante capacitar a máquina e/ou o operador a identificar uma característica da atividade que não está conforme, recorrendo a ferramentas como *poka yoke*. A situação desejada é que nenhuma peça seja rejeitada ou retrabalhada no circuito que vai da restrição do sistema de produção até ao cliente (Martins, 2009).

Também se aumenta a capacidade do recurso gargalo com aumento do tempo no qual o gargalo está efetivamente a funcionar, o que é traduzido na técnica 10, onde se deve utilizar a manutenção como forma de melhorar a capacidade do gargalo. A manutenção dá-se de duas formas: manutenção corretiva e planeada. Assim, a redução do tempo em paragens planeadas e não planeadas na restrição permitirá um maior tempo do equipamento em funcionamento e, consequentemente, um maior ganho para a empresa. O conceito de TPM (Manutenção Produtiva Total) procura melhorar a capacidade de produção real dos equipamentos, reduzindo os tempos de paragens dos equipamentos devido a avarias do mesmo (Martins, 2009).

O sistema de alimentação da matéria prima ou do produto semiacabado para o processamento no recurso gargalo pode ter impacto na capacidade de produção (técnica 11). Isto acontece quando o gargalo interrompe o seu processamento à espera da próxima peça. Nesta situação o sistema de alimentação deve ser melhorado para trazer benefícios ao ciclo do gargalo e consequentemente aumentar a capacidade de produção (Martins, 2009).

Por norma são processados mais do que um tipo de produto, sendo que as trocas obrigam a uma paragem de máquina, sendo um problema quando a duração da troca no recurso gargalo é grande (técnica 12). A utilização da técnica *Single Minute Exchange of Die* (SMED), de forma a reduzir ao mínimo o tempo utilizado para as mudanças necessárias nos equipamentos, permite diminuir o impacto da paragem nas quantidades a produzir. Também pode ser definida uma sequência de troca de referências de forma a que os tempos de troca sejam minimizados, e assim sejam realizadas menos alterações (Martins, 2009).

Por fim, a técnica 13 permite o aumento de capacidade através de várias iniciativas levando à redução do tempo de duração do ciclo de trabalho no recurso gargalo. O uso de fluxogramas de processo auxilia a compreensão das etapas que compõem o ciclo da operação gargalo, pois permite detetar oportunidades de redução. O diagrama de *Gantt* também ajuda a identificar as oportunidades de melhoria do ciclo, como por exemplo as atividades mais longas, as que poderiam ocorrer em paralelo, esperas desnecessárias, entre outras. De seguida são apresentadas algumas técnicas que permitem reduzir o tempo de ciclo da operação (Martins, 2009).

- Eliminação da duplicidade - Esta técnica é colocada em prática através da eliminação de atividades idênticas, que acontecem em fases diferentes na sequência de processo, como por exemplo diversas inspeções. A duplicidade tem muitas vezes origem na falta de confiança no processo em questão e, desta forma, antes da eliminação é necessário o estabelecimento da confiança no processo (Martins, 2009);
- Eliminação da burocracia / simplificação da atividade gargalo - A eliminação da burocracia tem como objetivo retirar das rotinas administrativas, aprovações e preenchimento de documentos desnecessários que fazem com que a operação gargalo fique paralisada. A simplificação significa reduzir a complexidade e exigência (Martins, 2009);
- Utilização das técnicas de redução do tempo de troca de modelo para a redução do ciclo de máquina - A metodologia SMED é utilizada para a redução do intervalo de duração da troca de modelo, mas também pode ser utilizada para a redução do ciclo de uma atividade. Isso é possível através da eliminação de ajustes, utilização de gabaritos intermédios, realização de operações paralelas, utilização de dispositivos de aperto funcionais, etc. (Martins, 2009);
- Mudança da sequência das operações realizadas pelo gargalo - A possibilidade de ganho no ciclo total devido à mudança da sequência das atividades que compõem o ciclo total deve ser explorada (Martins, 2009);
- Melhor aproveitamento do ciclo - Alguns processos trabalham com um determinado número de peças de cada vez. O aumento da capacidade de produção nesta técnica advém do aumento da quantidade de peças processadas a cada ciclo. Exemplo disso é a quantidade de peças dentro de um forno, otimizando o espaço interno, de um recurso gargalo comum na indústria cerâmica. As iniciativas que fazem uso desta técnica estão ligadas ao melhor uso do espaço interno no qual é realizado o processo ou do número de peças processadas ao mesmo tempo (Martins, 2009).

As técnicas que acabaram de se apresentar são algumas das que permitem aumentar a capacidade de produção do recurso gargalo, que tiveram como base a pesquisa bibliográfica feita. Tendo isto em conta, o trabalho prático irá utilizar algumas dessas técnicas de forma a dar resposta ao problema apresentado, melhorando o posto de trabalho em estudo.

Como complemento, a utilização de ferramentas como diagrama de *Gantt* são uma mais valia para contornar problemas de capacidade, de forma a balancear tarefas e a compreender a carga de trabalho dos diferentes recursos em análise.

2.1.4 Diagrama de *Gantt*

O diagrama de *Gantt* foi criado por *Henry Laurence Gantt* em 1910, tendo sido uma importante descoberta para a gestão científica da época. Durante a primeira guerra mundial existiram outros investigadores a usar a ferramenta, mas foi *Gantt* que a descreveu pela primeira vez, numa abordagem tabular, como ferramenta de planeamento da produção (Wilson, 2003).

Os diagramas de *Gantt* são usados para coordenar atividades, de modo a que as ordens de fabrico atravessem a fábrica, mantendo as máquinas e os operadores ocupados. São simples e de fácil compreensão, mas exigem um grande esforço na recolha de informação (Wilson, 2003).

Para a construção de um diagrama de *Gantt* é necessário definir as atividades/tarefas a executar para produzir os outputs pretendidos. De seguida, é necessário definir e documentar as relações entre as atividades/tarefas. É necessário estimar os recursos necessários para a realização de cada atividade e estimar a duração aproximada das atividades, tendo em conta os recursos necessários. Posto isto, é necessário calendarizar as atividades considerando a sequência, duração e requisitos dos recursos disponíveis. Por fim, é necessário estimar os riscos envolvidos nas atividades que se pretendem calendarizar. Para a produção os riscos mais frequentes são o absentismo dos operadores, *setups* de ferramentas ou avarias nas máquinas. Na Figura 2.3 estão representadas as etapas a realizar para a construção de um diagrama *Gantt* (Project Management Institute, 2013).



Figura 2.3 - Etapas a realizar para a construção de um diagrama de *Gantt*

A utilização dos diagramas de *Gantt* na produção tem inúmeras vantagens, entre as quais o balanceamento de linhas de produção/montagem de modo a procurar o número de operadores necessários para a realização das tarefas, minimizando tempos de espera (Kellegöz, 2017). Este assunto será explorado no tópico 2.1.10, onde foi utilizado um diagrama de *Gantt* para conhecer o relacionamento entre todas as tarefas e, consequentemente, identificar problemas.

Quando não é possível obter dados para a construção do diagrama da *Gantt*, podemos estimar esses dados com base no historial ou a partir das atividades semelhantes. Para estimar a duração das tarefas recorreremos a métodos de estudo de tempos.

2.1.5 Estudo de Tempos

O estudo de tempos é uma técnica de medida de trabalho cujo objetivo é o de obter informação acerca do tempo de trabalho, atrasos, *setups*, avarias entre outros. O estudo de tempos é indispensável a qualquer sistema de gestão de produção, permitindo responder a questões cruciais para uma organização, como saber qual a capacidade instalada, qual o custo de transformação do produto, tempos improdutivos, eficácia do método de produção, prazos previstos de entrega e as necessidades efetivas (Baines, 1995; Stevenson, 2005).

O estudo de tempos é definido em quatro etapas (Baines, 1995; Stevenson, 2005):

1. Selecionar – consiste na escolha e preparação do assunto a analisar. É necessário realizar uma recolha de toda a informação relativa as tarefas e sequências realizadas;
2. Medir – consiste em obter uma medição inicial do processo;
3. Avaliar – permite definir se o número de observações é suficiente para que se possa tirar conclusões acerca do processo;
4. Padronizar – apresentar os coeficientes necessários para que o tempo possa ser considerado (fatores como fadiga, paragens estipuladas dos operadores, etc.)

Torna-se, assim, necessário fazer um registo de dados para contabilizar os tempos. Os tempos realizados são influenciados pelas condições em que o processo é praticado, a complexidade do produto, o grau de maquinaria dos postos de trabalho, as condições ambientais do local de trabalho (ruído, temperatura, humidade, iluminação, etc.) e a experiência dos operadores que realizam as atividades a serem medidas (Baines, 1995; Stevenson, 2005).

Existem diversos métodos para a medição e determinação dos tempos, mas a medição de tempos por cronometragem é a técnica mais comum e mais utilizada para realizar o estudo de tempos. É um método de fácil compreensão e aplicação, podendo ser usado em todas as tarefas e processos de uma organização. A cronometragem divide-se em três etapas: 1) preparação do estudo, 2) cronometragem dos tempos e 3) análise de resultados, etapas apresentadas na Figura 2.3 (Baines, 1995; Stevenson, 2005).

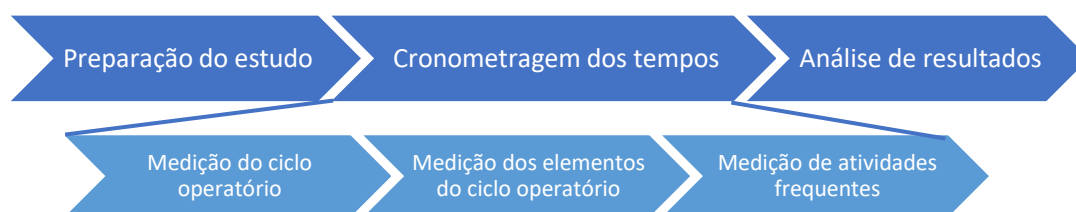


Figura 2.4 - Etapas para a realização de cronometragem

A preparação do estudo deve-se iniciar com a recolha de informação acerca da tarefa ou processo que se pretende medir, selecionando um posto de trabalho e um operador com aptidões e qualificações adequadas. Quem realizará a cronometragem deve verificar se as condições de trabalho estão normalizadas, escolhendo o momento para a inicialização da cronometragem (Baines, 1995; Stevenson, 2005).

Uma cronometragem completa dos tempos é constituída por três fases: medição do ciclo operatório ou ciclo de trabalho, medição dos elementos do ciclo operatório e por última medição das atividades frequentes. Tendo como exemplo a produção de uma peça (Baines, 1995; Stevenson, 2005):

1. a medição do ciclo operatório ou ciclo de trabalho corresponde ao tempo total da produção da peça;
2. a medição dos elementos do ciclo operatório corresponde aos processos de transformação (soldar, aparafusar, colar). É contabilizada uma tarefa em específico dentro do ciclo de trabalho;
3. a medição das atividades frequentes como tempo de mudança de ferramenta ou atividades logísticas.

Na terceira fase, análise de tempos, podem-se calcular estatísticas relativas ao tempo médio unitário tais como média e o desvio padrão (Baines, 1995; Stevenson, 2005).

Existem três métodos para a realização de cronometragem. A primeira, cronometragem contínua, implica que o cronómetro inicie a contagem desde o início do primeiro elemento, sendo que apenas é parado quando a tarefa ou processo chega ao fim. No fim de cada elemento, o responsável pelo estudo regista a leitura do cronómetro, conseguindo assim determinar o tempo de realização de cada elemento e o tempo total do processo ou ciclo de trabalho. A cronometragem com retorno a zero realiza-se quando o cronómetro inicia a contagem desde do início do primeiro elemento, mas no fim de cada elemento realizado, o responsável do estudo coloca o cronómetro a zero. Neste caso o cronómetro não contabiliza o tempo total do ciclo de trabalho. Por fim, existe a cronometragem de leitura fixa, em que o cronómetro é constituído por dois ponteiros, sendo que os dois iniciam a contagem desde do início do primeiro elemento. No fim desse elemento o responsável pelo estudo carrega no cronómetro e um dos ponteiros para enquanto o outro avança. Assim é possível fazer o registo do tempo total de todos os elementos (Stevenson, 2005).

Para a realização de um estudo de tempos é necessário a padronização dos métodos de trabalho, garantindo que as tarefas são executadas sempre do mesmo modo.

Desta forma, a medição de tempos trás vantagens para as organizações, como o facto de não ser intrusivo, pois não é necessário interromper o normal funcionamento para a recolha de dados. Não é um método dispendioso, e as observações podem ser realizadas durante um longo período de tempo, reduzindo a probabilidade de ocorrerem resultados falseados pelos colaboradores.

Infelizmente, este método tem algumas desvantagens, entre as quais o facto de não ser possível dividir as tarefas em unidades elementares, tendo por isso, menos detalhe das tarefas, e é um método fácil de manipular, tanto por parte da pessoa que cronometra, como por parte do operador que é cronometrado.

De forma a melhorar o detalhe das tarefas a serem cronometradas, é possível utilizar um diagrama de processos para auxiliar a tarefa de cronometragem dos tempos.






2.1.6 Diagrama de Processos

O diagrama de processos é uma ferramenta para a análise de métodos e permite esquematizar a sequência de operações necessárias para a realização da atividade. Baseia-se no princípio da decomposição dos processos operatórios em cinco elementos (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2006; Stevenson, 2005):

- Operação - transformação que traz valor acrescentado;
- Transporte – movimentação para outro lugar;
- Inspeção – examinar a qualidade;
- Atraso – processo tem de esperar para continuar;
- Armazenamento – armazenar para usar mais tarde;

Na Tabela 2.4, são descritas todas as tarefas a realizar para a atividade em análise, que são classificadas de acordo com os elementos indicados anteriormente (Courtois et al., 2006; Stevenson, 2005).

Tabela 2.4 - Representação dos elementos do diagrama de processos

Elemento	Operação	Transporte	Inspeção	Atraso	Armazenamento
Representação					

2.1.7 Balanceamentos de linhas de produção

O Balanceamento de Linhas de Produção (*Production Assembly Line Balancing*) consiste na atribuição de tarefas aos postos de trabalho de modo a que o tempo inativo seja minimizado e as restrições de precedência sejam respeitadas. Com o balanceamento pretende-se que os recursos sejam aproveitados de uma forma satisfatória, ao menor custo possível. Permite às empresas utilizar de melhor forma o tempo disponível e produzir o número exato de unidades necessárias para responder à procura (Sivasankaran & Shahabudeen, 2014).

Para a realização de um balanceamento é necessário conhecer todas as tarefas envolvidas, a precedência entre tarefas e tempos de processamento das tarefas associadas (Almeida, 2015).

O balanceamento de linhas de produção trás variados benefícios para as empresas, como os listados em seguida (Almeida, 2015):

1. Equilibrar o trabalho pelos operadores: se um operador faz mais unidades do que as que são necessárias origina um excesso de *stock* desnecessário porque os processos à frente não irão processar peças de que não necessitam;
2. Identificar o posto/recurso gargalo: posto de trabalho que precisa de uma maior atenção ao nível de engenharia e suporte de supervisor para que se possa equilibrar relativamente aos restantes postos;
3. Estabilizar a rapidez da linha de produção: todos os transportes devem estar preparados consoante as linhas de produção para que os produtos possam fluir de uma forma rápida e eficiente;
4. Determinar o número de postos de trabalho necessários: se a procura dos clientes aumentar, com alguma certeza que também terá de se aumentar o número de operadores;
5. Ajudar a determinar o custo do trabalho: somando todas as operações, é possível saber o total de horas de produção. Ao saber-se o custo de produção por hora, e multiplicando este pelas horas, consegue-se saber o custo de trabalho total;
6. Estabilizar a percentagem de trabalho por cada operador: desta forma é possível determinar a percentagem de tempo que um posto está ocupado em comparação com o recurso gargalo.

O objetivo principal de um balanceamento de linha de produção é fazer com que não existam grandes discrepâncias nos tempos de trabalho de cada operador. Isto apenas é possível se todo o processo for dividido em várias operações elementares de trabalho e, de seguida, estas forem atribuídas aos postos de trabalho de uma forma igual em termos de tempo. O posto de trabalho que possui o maior tempo de execução é considerado o “posto 100%” e é este posto que limita a saída do produto na linha de produção, o denominado posto gargalo, como já foi referido (Almeida, 2015).

O balanceamento permite melhorar o funcionamento do trabalho em equipa, que por vezes, é desvalorizado no chão de fábrica. Quando as empresas se focam apenas em minimizar o

número de postos e aumentar a taxa de produção, existem fatores que não podem ser descurados (Bukchin, Darel, & Rubinovitz, 1997):

- Baixa flexibilidade: qualquer alteração no design do produto afeta todo o sistema, sendo que o reequilíbrio das linhas será demorado. Além disso, os trabalhadores envolvidos são geralmente treinados para a execução de um trabalho, dificultando a mudança entre postos. O objetivo do balanceamento não é a produção de um único produto, mas sim de um *mix* de produtos. Assim, a partir do design do produto é necessário pensar na flexibilidade necessária para que o volume produção se adeque à procura por parte dos clientes. Isto conduz à necessidade de formação dos operadores para que consigam trabalhar nos diferentes postos;
- Balanceamento perdido: o balanceamento resulta de valores tempos de tarefas estáticos, pelo que qualquer perturbação será sentida nos diferentes postos de trabalho, prejudicando o desempenho da linha. O facto de se definirem tarefas curtas permite que que a variação que eventualmente venha a afetar a linha seja menor;
- Qualidade: quando não há ligação direta entre os trabalhadores e o produto final, a qualidade dos produtos é descurada. Falta de feedback leva a que os trabalhadores não aprendam com os seus erros. Para além disso, há situações em que não é possível identificar o trabalhador que causa o defeito. De forma a evitar erros de qualidade é necessário implementar sistemas de *poka-yoke* que ajudarão os operadores a identificar as peças não conformes para evitar que os erros se propaguem na linha;
- Elevados níveis de *work-in-process*: os longos tempos de fluxo do produto, devidos a uma ordem sequencial das operações de montagem, levam a que haja um número elevado de produtos em processamento através dos *stocks* entre postos. Assim, é necessário garantir que se mantém um fluxo contínuo, de forma a eliminar o *stock* entre os postos, levando a que o tamanho do lote passe a ser unitário.

2.1.8 *Lean Manufacturing System*

O *Lean Manufacturing* tem sido cada vez mais utilizado como uma solução potencial para muitas organizações, particularmente nas indústrias de manufatura, automóvel e aeroespacial (Lu & Yang, 2015).

O termo *Lean* foi apresentado no livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, de Womack, como resultado de um estudo sobre a indústria automóvel mundial, realizado pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*, EUA) (Pacheco, 2014).

Esse estudo evidenciou as vantagens do uso do sistema de produção Toyota (*Toyota Production System – TPS*) através do aumento da produtividade e qualidade e desempenho do desenvolvimento de novos produtos, que explicava o sucesso da indústria japonesa na época em que foi realizado o estudo (Pacheco, 2014).

Os pilares do TPS ou o chamado espírito Toyota são dois (Pacheco, 2014):

- (i) a automação, também entendida como automação com toque humano, que consiste em dotar máquinas, equipamentos e pessoas da autonomia necessária para parar a produção sempre que uma condição preestabelecida seja atingida (como a quantidade produzida), ou em condições anómalas (casos em que há desvios no padrão de qualidade desejado);

- (ii) *just in time*, uma lógica de produção que tem como princípio gerar *stock* em níveis estritamente necessários ao sistema, de forma a produzir no exato tempo apenas a quantidade necessária de produtos.

Existe um conjunto de ferramentas *Lean* que permitem atingir os objetivos propostos, entre as quais se destacam (Pacheco, 2014):

- *Just in time* (*heijunka*, produção em *pull*, produção no *takt* e sincronização dos processos);
- Redução de recursos (redução de lotes, eliminar perdas, *setups*, inventários, *lead time*);
- Estratégias de melhoria (*kaizen* e círculos de melhoria);
- Controlo de defeitos (automação, *poka yoke*, inspeção 100%).

O *Lean Manufacturing* tem foco na redução e eliminação de 7 desperdícios: excesso de produção, esperas, transportes e movimentações, desperdício do próprio processo, *stocks*, defeitos, trabalho desnecessários. O excesso de produção implica produzir mais do que é necessário, levando a que se tenha feito algo que não é necessário.

A espera é um desperdício por ser um tempo em que as pessoas ou equipamentos perdem não acrescentando valor para o produto. Transporte e movimentações levam à ocupação de espaço da fábrica, aumentam custos internos. Para além disso, as movimentações podem levar a que os produtos se danifiquem. O desperdício do próprio processo refere-se a operações e a processos que não são necessários. Por exemplo, na sequência de operações podem ser detetadas operações que não são necessárias para o processo, mas que ocupam tempo de operação e recursos. Este desperdício também se relaciona com o trabalho desnecessários que corresponde a um movimento que não é realmente necessário para executar as operações. Os *stocks* são um desperdício onde se deteta a presença de materiais retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da fábrica. Os *stocks* levam à ocupação de espaço e problemas de qualidade devido às sucessivas movimentações para ter os artigos arrumados. Os defeitos ou problemas de qualidade levam a custos de inspeção para dar resposta às queixas dos clientes e das reparações. O excesso de produção é um desperdício que pode originar todos os restantes problemas: quanto se produz quantidades a mais origina *stocks* de produtos que implica que haja movimentações das quantidades em excesso pela fábrica (Pinto, 2014).

Quando a *Toyota Motor Company* criou o TPS, houve a necessidade de redesenhar todo o sistema de produção. A Toyota mudou as linhas de montagem finais para um modelo misto que permitiu nivelar a procura dos seus clientes, converteu as linhas de subconjuntos lineares em células de subconjunto em forma de U e redesenhou a oficina criando células de produção. A mudança requer o compromisso de todos os níveis organizacionais da empresa e uma forte comunicação entre todos, em especial na produção. O envolvimento total dos funcionários (e sindicatos) é absolutamente necessário (Black, 2007).

De seguida é apresentada uma estratégia básica, definida por Black (2007) que agrupa os métodos utilizados por muitas empresas para implementarem com sucesso a produção *Lean* (Black, 2007):

- Nivelar e equilibrar o sistema de produção, suavizando o fluxo de materiais: estabelecer uma procura diária, desenvolver fluxo de peça única em submontagens;
- Projetar ou reconfigurar o sistema de produção: trabalho padronizado para operadores em células;
- Diminuição de *setups*, métodos de mudanças para reduzir tempos de *setups*: ensinar SMED, desenvolver configurações que permitam mudanças rápidas;
- Integrar o controlo da qualidade na produção: inspecionar para evitar defeitos, usar as 7 ferramentas da qualidade, 0 defeitos;

- Integrar a manutenção preventiva: projetar máquinas com confiabilidade, permitir aos operadores resolverem problemas e executarem manutenções diárias;
- Integrar o controlo de produção para ligar as células e puxar material para a montagem final: utilização de *kanbans*;
- Integrar o controlo de *stocks*: reduzir o WIP, remover gradualmente o inventário;
- Integrar os fornecedores e torná-los fabricantes *just-in-time*: fornecedores tornam-se parceiros;
- Automação – controlo automático da qualidade: aplicação de computadores e robots;

Assim, o *Lean Manufacturing* é uma abordagem que procura tornar as organizações mais competitivas no mercado em que atuam, aumentando a eficiência e diminuindo a variabilidade, eliminando etapas do processo sem valor acrescentado (Lu & Yang, 2015).

2.1.9 *Agile Manufacturing System*

Enquanto que a Produção *Lean* tem como foco a redução do desperdício, o sistema de produção ágil caracteriza-se por ser um sistema com capacidade de responder, de forma rápida, às mudanças do mercado, em termos de volume e variedade de produtos. A produção Ágil tem como base a estratégia *make-to-order*, sendo um sistema flexível e capaz de responder de forma rápida a mudanças no mercado (Esmaeilian et al., 2016).

No entanto as empresas são constantemente pressionadas para darem resposta ao mercado a baixo custo: sendo *lean* e ágil. Esse sistema é identificado como sistema *leagile*. A ideia principal é identificar um ponto de convergência que divida os dois sistemas, um para cada lado. Esse ponto chama-se ponto de desacoplamento e é um *buffer* de *stock* para responder às discrepâncias entre a procura real e a previsão de vendas. A produção próxima do cliente e após o ponto de desacoplamento baseia-se no conceito ágil, de forma a responder o mais rapidamente possível ao mercado volátil, enquanto a produção antes do ponto de desacoplamento segue o conceito *lean* (Esmaeilian et al., 2016).

2.1.10 *Value Stream Mapping (VSM)*

Value Stream Mapping (VSM) é uma ferramenta do *Lean Manufacturing* que permite reduzir o desperdício mapeando o fluxo de valor. Define-se VSM como sendo um mapa que agrega o fluxo de material e informação, ajudando a identificar e eliminar as perdas numa fábrica ou linha de produção, com o objetivo de responder aos clientes com qualidade e agilidade (Andrade, Pereira, & Del Conte, 2016).

O fluxo de valor é toda a ação (adicionando valor ou não) necessária pelas transformações que permitem atingir o objetivo pretendido: (1) o fluxo de produção, desde a matéria prima até ao consumidor, e (2) o fluxo do projeto do produto, da conceção até ao lançamento (Rother & Shook, 2012).

O VSM consiste em desenhar o mapeamento do fluxo de valor do estado atual. Neste VSM pretende-se obter um desenho real do processo em análise. Baseado no VSM atual, é projetado um VSM futuro onde são aplicadas as melhorias num novo fluxo de produção de forma a reduzir o desperdício através da aplicação de ferramentas de melhoria da produção (Andrade et al., 2016).

Para desenhar o mapeamento do fluxo de valor do estado atual é necessário recolher informações do chão de fábrica. Será sobre essa informação que se consegue desenvolver um estado futuro, visto que se analisará o estado atual com o objetivo de detetar pontos a melhorar. Deve realizar-se um plano de implementação que descreva sucintamente os passos a dar para chegar ao estado futuro. Assim que o estado futuro se concretize, é representado o mapa do estado futuro (Rother & Shook, 2012).

Para a representação dos mapas são utilizados os ícones da Figura 2.5.

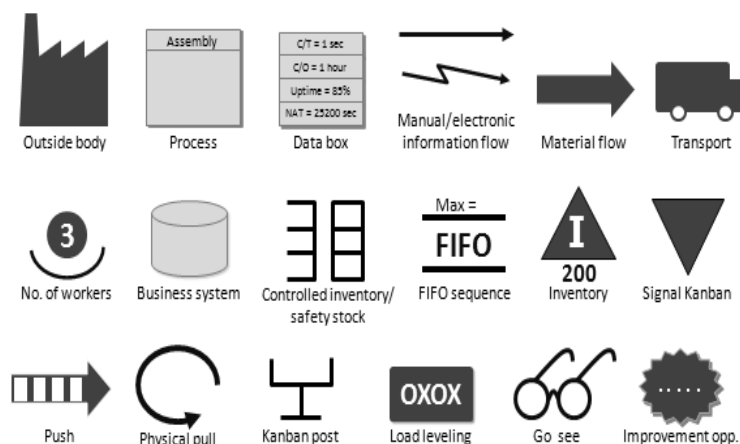


Figura 2.5 - Símbolos usados no VSM

Fonte: Página web de citoolkit¹

Os objetivos do VSM são destacar as fontes de desperdício e eliminá-las através da implementação do mapeamento do estado futuro, usando símbolos para representar o processo. Assim é possível criar uma cadeia de produção na qual os processos individuais estejam ligados aos clientes, sendo que cada processo produz apenas o que os clientes precisam e quando precisam (Andrade et al., 2016).

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta essencial nas empresas. A seguir são apresentados alguns dos benefícios (Forno, Pereira, Forcellini, & Kipper, 2014; Rother & Shook, 2012):

- Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais, permite mapear todo o fluxo;
- Ajuda a identificar desperdícios;
- Fornece uma linguagem comum para tratar os processos produtivos, e consequentemente, uma maneira simples e padronizada para tratar os procedimentos;
- É a base de um plano de ação/implementação visto que ajuda a desenhar o fluxo total para a obtenção dos artigos;
- Mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material;
- Torna as decisões mais visíveis, permitindo a discussão prévia de possíveis mudanças e melhorias.

Ao aplicar ferramentas *lean*, é possível eliminar o desperdício do estado atual e desenhar um estado futuro com processos *lean* (Andrade et al., 2016).

¹ Disponível em: <<https://citoolkit.com/articles/vsm/>> Acesso a mar. 2018.

2.1.11 *Single Minute Exchange of Die* (SMED)

Single Minute Exchange of Die é uma técnica desenvolvida por Shingo com o objetivo de diminuir o tempo entre mudanças de ferramenta. Os princípios do SMED são (Sundar, Balaji, & Satheesh Kumar, 2014):

- Separar os *setups* internos dos externos;
- Converter os *setups* internos em externos;
- Padronizar todos os aspetos do *setup*;
- Efetuar as operações de *setup* em paralelo ou eliminá-las por completo.

A diferença entre *setups* internos e externos é que os *setups* internos são realizados com a máquina parada, sendo que os *setups* externos são realizados com a máquina em funcionamento. Desta forma o SMED permite reduzir o tempo em que a máquina está parada, eliminando tarefas ou passando a executar as tarefas com a máquina em funcionamento (Sundar et al., 2014).

No SMED, o objetivo é realizar a mudança de ferramenta no menor período de tempo possível, permitindo que os equipamentos se tornem mais flexíveis. À medida que se diminui o tempo de mudança, o tamanho dos lotes diminui de forma proporcional (Pinto, 2014).

A Gestão das Operações continua a ser uma área de investigação em constante evolução, com novos conceitos e conhecimentos a aplicar, não devendo descuidar a qualidade dos processos e dos produtos, em prol da satisfação dos clientes. Desta forma, decidiu-se incluir neste trabalho um tópico dedicado à Gestão da Qualidade, que se apresenta seguidamente.

2.2 Gestão da Qualidade

2.2.1 Conceitos Gerais

A palavra qualidade apresenta inúmeros significados. A maioria das vezes é associada às características do produto ou inexistência de falhas. Assim sendo, a qualidade é essencial para uma análise de vários critérios, que variam de pessoa para pessoa, ainda que esteja a ser analisado o mesmo produto (Stevenson, 2005).

No dia a dia das organizações é habitual encontrar diferenças entre duas peças ou objetos que aparentam, à primeira vista, ser idênticos. De forma a reduzir a variação, procura-se medir, quantificar e reduzir tais diferenças, sendo o objetivo melhorar qualquer processo produtivo ou serviço (Stevenson, 2005).

A estatística tem-se relevado uma ferramenta fundamental no processo da qualidade, apresentando-se como ferramenta eficaz de recolha, compilação, tratamento e análise dos dados recolhidos. As ferramentas estatísticas são utilizadas na indústria, pois entende-se que ao remover as causas dos problemas se obtém uma maior produtividade, e que a resolução dos problemas utilizando técnicas gráficas e específicas produz melhores resultados do que os processos de procura não estatísticos. Essas técnicas, que permitem saber onde estão os problemas, podem ser divididas em quatro grupos distintos (Rosa, Sá, & Sarrico, 2014):

- Ferramentas básicas: fluxograma, diagrama de Pareto, diagrama de *Ishikawa* ou causa e efeito, folha de verificação, histograma, diagrama de dispersão e carta de controlo;
- Ferramentas intermédias: técnicas de amostragem, inferência estatística, métodos não paramétricos;
- Ferramentas avançadas: desenho de experiências (métodos de *Taguchi*), análises multivariáveis, análise de séries temporais, técnicas de investigação operacional;
- Ferramentas de planeamento: desdobramento da função qualidade (QFD); análise modal de falhas e efeitos (AMFE), método KJ, diagrama de relações/inter-relações, digrama de árvore, matrizes de prioridades, diagrama matricial, gráfico de decisão do processo, diagrama de atividades.

No presente documento serão abordadas em maior detalhe apenas as ferramentas básicas, também conhecidas como sete ferramentas básicas da qualidade e, dentro destas o fluxograma, dado que será utilizado na parte prática do trabalho.

2.2.2 Ferramentas Básicas da Qualidade

As ferramentas básicas da qualidade são ferramentas com um elevado impacto visual e muito simples (requerem apenas papel, canetas, criatividade, imaginação e empenho por parte dos membros das equipas de trabalho que as utilizam). São ferramentas que permitem ajudar na resolução de grande parte dos problemas com que uma organização se vê confrontada. Estimulam e ajudam a construir uma abordagem estruturada para a recolha de informação, respetiva análise e correspondentes tomadas de decisão em torno dos processos (Rosa et al., 2014; Stevenson, 2005).

As ferramentas da qualidade são 7, cada uma delas utilizada para resolver um tipo de questão, como se pode verificar na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Ferramentas da qualidade e suas aplicações

Aplicação	Ferramentas da Qualidade
Identificação de um problema	Fluxograma Formulário de Recolha de Dados Diagrama de Causa-Efeito
	Diagrama de Pareto Histogramas Cartas de Controlo
Análise de um problema	Relação entre os fatores de variação e as características de qualidade Gráficos (diagrama de dispersão, correlação ou regressão)

2.2.3 Fluxograma

O fluxograma é uma das ferramentas básicas da qualidade. Um fluxograma é um diagrama que, no contexto organizacional, tem como finalidade representar processos ou fluxos de materiais e operações e/ou informação. É, desta forma, uma representação de uma situação dinâmica e destina-se, normalmente, a ilustrar as várias etapas de um processo, ordenadas sequencialmente. Os fluxogramas podem ser utilizados em diversos contextos: processos industriais de fabrico, procedimentos operativos, funcionamento de sistemas e processos administrativos. O fluxograma também pode ser usado na área da programação para elaboração de algoritmos (programação estruturada) (Rosa et al., 2014; Stevenson, 2005).

Existem inúmeras vantagens decorrentes do uso de fluxogramas: permitem clarificar, definir, estruturar e documentar processos, estimulando um trabalho de reflexão que pode conduzir à simplificação, melhoria e redução de ciclos temporais; os colaboradores que os utilizam passam a ter um melhor conhecimento dos processos que decorrem na organização; facilitam a identificação de possíveis causas e origens para determinados problemas; possibilitam a identificação de atividades que não acrescentam valor (a um processo em particular, ou à organização em geral); incentivam o trabalho em grupo. Uma vez construídos os fluxogramas, o conjunto de tarefas que representam e a forma como são realizadas devem ser revistos periodicamente, conduzindo à melhoria contínua do processo em causa (Rosa et al., 2014).

Para a construção do fluxograma existe um procedimento a ser cumprido:

1. Selecionar um processo;
2. Constituir uma equipa de trabalho (com 5 a 8 elementos) diretamente envolvidos no processo em causa;
3. A equipa deve chegar a consenso sobre as fronteiras do processo, as suas entradas, saídas e fases do processo (passos ou atividades que tem que ocorrer para produzir as saídas desejadas). Deve ser definida a simbologia a utilizar;
4. Construir um esquema em folha de papel onde se listam os elementos identificados no ponto anterior, pontos de decisão e caminhos alternativos;

5. Quando toda a equipa está de acordo acerca da disposição dos diferentes elementos, desenham-se as respetivas setas que os unem.

Um fluxograma tem sempre um início, um sentido de leitura (ou fluxo), e um fim. Para a construção de um fluxograma são utilizados símbolos que são facilmente reconhecíveis, e com significado específico (Rosa et al., 2014) e que se apresentam na Figura 2.6.

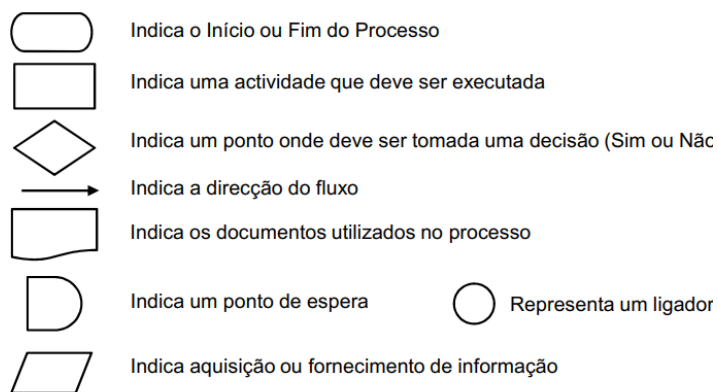


Figura 2.6 - Notação utilizada na construção de fluxogramas

A elaboração de um fluxograma deve, ainda, seguir algumas linhas orientadoras, salientando-se as seguintes (Rosa et al., 2014).

- Deve evitar-se o cruzamento de linhas;
- O texto deve ser sempre claro e sucinto;
- O texto relativo às ações deverá começar com um verbo no infinitivo (fazer, melhorar, medir, ...)

Devidamente aplicadas, as sete ferramentas poderão levar a organização a:

- Elevar os níveis de qualidade por meio da solução eficaz de problemas;
- Diminuir os custos, com produtos e processos mais uniformes;
- Executar projetos melhores;
- Melhorar a cooperação em todos os níveis da organização;
- Identificar problemas existentes nos processos, fornecedores e produtos;
- Identificar causas raízes dos problemas e solucioná-los de forma eficaz.

É necessário saber para que serve cada ferramenta e como aplicá-la, pois, somente assim, será possível obter bons resultados.

2.3 Análise Estatística de Dados

2.3.1 Conceitos Gerais

Quando se recolhem dados de forma a definir a duração das tarefas de um diagrama de *Gantt* ou para construir um VSM, se esses dados não forem tratados estatisticamente não será possível retirar conclusões acerca dos mesmos. Assim sendo, será essencial utilizar a estatística, que é a área científica responsável pela recolha, organização, análise e interpretação de dados para tirar conclusões acerca dos dados recolhidos, e, assim, facilitar e fundamentar a tomada de decisões (Mason, Lind, & Marchal, 1994).

Existem diferentes formas de tratar os dados estatisticamente, nomeadamente: estatística descritiva e inferência estatística. A estatística descritiva permite tratar e representar, de forma compreensível, informação contida num conjunto de dados que constituem uma amostra. A inferência estatística permite, a partir de uma amostra, retirar conclusões acerca da população da qual esta foi retirada (Mason et al., 1994; Mastinez & Ferreira, 2007).

Entre as técnicas de inferência estatística, encontram-se os testes de hipóteses, que se referem brevemente em seguida, pelo facto de terem sido utilizados no contexto deste trabalho (Mason et al., 1994).

2.3.2 Teste de Hipóteses

Um teste de hipóteses é um procedimento que permite averiguar se um determinado conjunto de dados sustentam uma hipótese (Guimarães & Cabral, 2011).

O teste de hipótese tem como base o procedimento de seguida apresentado:

1. Definir a hipótese nula e a hipótese alternativa, com base no problema;
2. Identificar a estatística de teste e caracterizar a sua distribuição;
3. Definir a regra de decisão, definindo o nível de significância do teste;
4. Calcular a estatística de teste e tomar a decisão.

Num teste de hipóteses é necessário definir dois tipos de hipóteses. A hipótese nula (H_0) é a hipótese assumida como verdadeira para a construção do teste, sendo aquilo que se interessa testar. A hipótese alternativa (H_1) é considerada quando a hipótese nula não tem evidência estatística. A hipótese alternativa contém sempre uma desigualdade ($>$, $<$ ou \neq) e a hipótese nula uma igualdade (\geq , \leq ou $=$) (Guimarães & Cabral, 2011).

Com as hipóteses definidas é necessário selecionar uma estatística de teste (ET), que permitirá rejeitar ou não a hipótese nula. Para a tomada de decisão, a partir do valor da estatística de teste define-se a regra de decisão para o teste (Guimarães & Cabral, 2011).

A regra de decisão consiste em especificar uma zona de rejeição de acordo com o valor de prova (α). O valor de prova permite concluir acerca da certeza dos resultados serem realmente diferentes. Para um nível de confiança de 95% ($\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$) caso, a ET tiver p-value menor que 0,05, significa que H_0 está dentro da região de rejeição e será rejeitada. Caso ET seja maior que

0,05, o H_0 não é rejeitado não se podendo tirar conclusões acerca dos resultados (Guimarães & Cabral, 2011).

Os testes de hipóteses dividem-se em dois tipos: testes paramétricos e testes não paramétricos. Os testes paramétricos permitem tirar conclusões mais elaboradas tendo por base as leis de probabilidade, enquanto que os testes não paramétricos têm menos potência estatística, utilizando-se quando os pressupostos dos primeiros não se verificam. Os testes que vão ser usados para o projeto são o teste de *Kolmogorov-Smirnov* para investigar se um conjunto de dados recolhidos seguem uma distribuição aproximadamente normal, teste de *Levene* para investigar se existe homogeneidade entre as variâncias de duas populações e teste *t-student* para investigar se existe diferença entre médias de duas populações (Guimarães & Cabral, 2011).

O teste *Kolmogorov-Smirnov* é um teste não paramétrico que analisa a qualidade de ajuste de uma amostra a uma distribuição teórica. Pode ser aplicado em amostras de pequena dimensão e requer poucos pressupostos acerca dos dados, porém este tipo de teste só se aplica a dados expressos em escalas contínuas (Guimarães & Cabral, 2011).

O teste de *Levene* é um teste paramétrico, que é utilizado para comparar a variância de uma variável medida em duas populações, ou seja, se os valores da variável em causa diferem em variabilidade, entre as duas populações analisadas (Guimarães & Cabral, 2011).

O teste *t-student* também é um teste paramétrico usado para a comparação de valores médios entre duas populações, com o objetivo de verificar se existem diferenças significativas. Os dados em causa são quantitativos, e o teste pressupõe que as populações sejam normais, (o que pode ser verificado através do teste *Kolmogorov-Smirnov*), ou que as amostras sejam suficientemente grandes para se poder utilizar o teorema do limite central (Guimarães & Cabral, 2011).

2.4 Processo de Soldadura

2.4.1 História e evolução da soldadura

A soldadura é um dos processos mais antigos que permite unir materiais. Existem indícios de que foi utilizada na Idade do Bronze onde peças ferrosas foram unidas através do impacto. Durante a Idade Média, a arte da ferraria foi aperfeiçoada utilizando a soldadura por martelagem (Lima, 2014).

A soldadura como existe nos dias de hoje tem origem em 1800 em que Sir Humphry Davy utilizou um arco elétrico entre dois elétrodos de carbono. Até ao final do século XIX, surge a soldadura e o corte a gás. A primeira patente de soldadura foi obtida por Nikolai Benardos e Stanislaus Olszewski em 1887. Tal patente continha um dispositivo de fixação do eletrodo, restringindo-se apenas ao arco elétrico de carbono. C.L.Coffin em 1890 patenteou o primeiro sistema de arco elétrico com eletrodo metálico, sendo pioneiro na deposição de material de adição na soldadura através do arco elétrico (Lima, 2014).

Em 1900, Strohmenger introduziu o eletrodo de metal revestido. Durante os primeiros anos do século, foram desenvolvidas as soldaduras por resistência bem como o aperfeiçoamento da soldadura por gás graças à introdução de oxigénio e hidrogénio. A primeira guerra mundial (1914-1918) impulsionou a evolução da soldadura graças aos novos requisitos da indústria aeronáutica, armamento e transportes. No decorrer da década de 1920, foi introduzida a soldadura automatizada por P.O.Nobel. Assistiu-se ao desenvolvimento de vários tipos de elétrodos e de avanços na soldadura por gás como a soldadura em atmosfera de hidrogénio, árgon e hélio. Na década de 1930 surge a soldadura por arco-submerso (Lima, 2014).

A soldadura TIG teve início na década de 1940, derivando de um conceito de C.L.Coffin que remonta a 1890, sendo posteriormente avançada na década de 20 por H.M.Hobart e P.K.Devers. Por seu lado, a soldadura MIG-MAG teve origem em 1948 no Battelle Memorial Institute, sendo patenteada por H.E.Kennedy. Em 1953, Lyubavskii e Novoshilov realizaram experiências utilizando elétrodos consumíveis em atmosfera de CO₂, tornando os processos de soldadura a gás mais económicos (Lima, 2014).

Desde a década de 1960 até aos dias de hoje os desenvolvimentos tecnológicos permitiram a criação de processos de soldadura mais eficientes e precisos, bem como o aperfeiçoamento dos já popularizados, muito graças ao aperfeiçoamento das fontes de energia e dos materiais utilizados. São casos conhecidos a soldadura por arco de plasma (1957), por feixe de eletrões (1957), soldadura por fricção (desenvolvida na URSS) e mais recentemente a soldadura Laser (Lima, 2014).

2.4.2 Tipos de soldadura

Existem diferentes formas de realizar a soldadura que variam consoante os materiais base, o meio donde é realizado e a resistência pretendida. Neste documento vão ser apresentadas os tipos de soldadura mais comuns: soldadura por arco elétrico, soldadura por resistência, MIG/MAG, TIG e soldadura por pontos (Lima, 2014).

A soldadura por arco elétrico serve para ligar metais através de calor que é produzido por um arco elétrico (ou por um circuito elétricos fechado). A soldadura por resistência une dois metais pelo calor produzido pela resistência ao fluxo de uma corrente elétrica (Lima, 2014).

A soldadura semiautomática MIG/MAG consiste na utilização de fios de eletrodos contínuos, na extremidade dos quais se estabelece o arco elétrico e uma atmosfera protetora. A soldadura MIG utiliza gás inerte (árgon, hélio ou misturas) e a soldadura MAG utiliza gás ativo (dióxido de carbono e misturas) (Lima, 2014).

A soldadura TIG é um processo de soldadura de alta qualidade realizado através de um arco elétrico entre um eletrodo de tungsténio infusível e a peça numa atmosfera de gás inerte, utilizando metal de adição, igual ao metal de base (Lima, 2014).

A soldadura por pontos aproveita a resistência que certos materiais oferecerem à passagem da corrente elétrica, gerando calor que funde os materiais, em função da duração do tempo de passagem dessa corrente. Quando se aplica sobre os materiais, a uma pressão adequada, eles soldam (Lima, 2014).

Capítulo 3 – Projeto Prático

3.1 Apresentação da Empresa

A Epedal-Indústria de Componentes Metálicos S.A é uma empresa portuguesa que se dedica a produzir componentes e subconjuntos, em aço e inox, para a indústria automóvel, com a particularidade de também desenvolver e construir as próprias ferramentas da produção (Epedal S.A., 2017).



Figura 3.1 - Logotipo Epedal
Fonte: Página web da Epedal²

Iniciou a sua atividade em 1981 fabricando produtos direcionados para o mercado do ciclismo. Em 1987, a Epedal entra no mercado automóvel, transformando o seu processo produtivo para a produção de componentes, procurando satisfazer os seus clientes (Epedal S.A., 2017).

As instalações da Epedal estão localizadas em Sangalhos (Anadia), ocupando uma área coberta de 12 500 m², de um total de 105 000 m². Emprega aproximadamente 220 colaboradores, trabalhando em 3 turnos, nos 5 dias úteis da semana. Para a realização das atividades da empresa existe um conjunto de pessoas que estão organizadas segundo a seguinte estrutura (Epedal S.A., 2017):

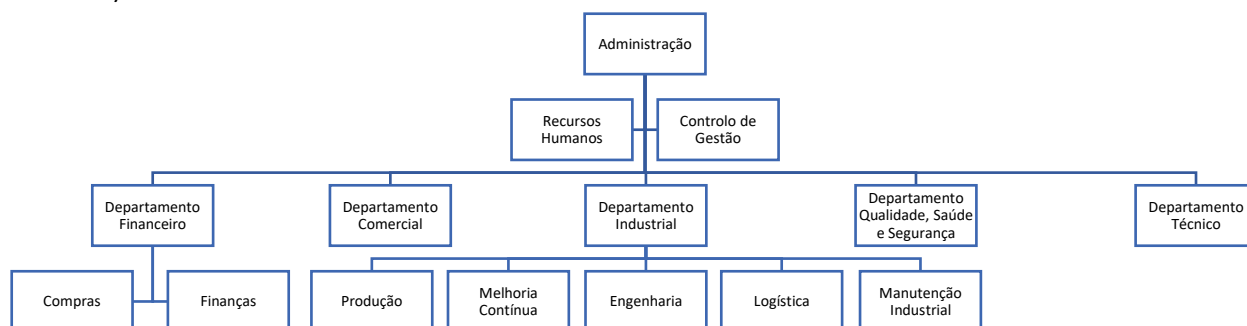


Figura 3.2 - Organograma da Epedal
Fonte: Página web da Epedal³

A missão da empresa assenta no pressuposto de “produzir componentes metálicos para a indústria automóvel que satisfaçam integralmente os clientes”. A Epedal é certificada pelos principais fornecedores da indústria automóvel e também segundo as normas IATF 16949, NP EN ISO 14001 e OHSAS 18001 (Epedal S.A., 2017).

Cerca de 55% da produção é exportada para Espanha, França, Eslováquia, Reino Unido, Alemanha, Brasil e Coréia do Sul. Atualmente fornece diferentes clientes como a Volkswagen AutoEuropa, Mitsubishi Truck Fuso Europe, General Motors, Daimler, F.Segura, Faurecia Seating, Faurecia Exhaust Systems, Gestamp, Grupo Antolin, Tenneco, Borgwarner, Kirchhoff e Inapal Plásticos (Epedal S.A., 2017).

² Disponível em: <<https://epedal.pt/pt/>> acesso em out. 2017.

³ Disponível em: <<https://epedal.pt/pt/>> acesso em out. 2017.

3.2 Apresentação dos Processos Produtivos

A Epedal agrega sistemas de produção contínua e descontínua, existindo postos de trabalho capazes de transformar um *mix* de produtos, contrariamente a outros postos que estão dedicados a um tipo de produto. Face a isto, os lotes de produção são de tamanho pequeno/médio/elevado.

Relativamente ao relacionamento com o cliente, a Epedal tal como outras empresas do ramo automóvel, estabelece contratos onde estão estipulados os volumes e prazos a cumprir, o que permite um planeamento estratégico. Assim, o ERP (*Enterprise Resource Planning*) calcula as necessidades a partir das previsões dadas pelo cliente, sendo que a produção produz de acordo com as mesmas previsões. Posteriormente, o cliente confirma a encomenda com um prazo que pode variar entre 2 dias a 2 semanas.

Os processos produtivos utilizados na Epedal são tecnologias de conformação, estampagem, soldadura, e tratamento de superfícies. A empresa apresenta ainda experiência na conceção de ferramentas, existindo uma equipa dedicada ao estudo e projeto das ferramentas e um centro de maquinação.

A empresa encontra-se organizada por processos e está dividida em secções de produção, onde decorre a fabricação dos produtos. Tendo em conta o pedido do cliente, os produtos são transportados entre os setores apresentados até que sejam sujeitos a todas as operações pretendidas. Caso os componentes em causa sejam tubos ou arames, estes passam por processos de corte e/ou dobragem até cumprirem as especificações do cliente, sendo que a maquinaria se encontra no setor de tubos e arames. Também existem componentes que são obtidos através da estampagem de chapa. Estes processos são realizados no setor das prensas ou balancés.

A maioria dos componentes que chegam ao cliente são conjuntos de várias peças (arames/tubos com chapas) que se unem no setor da soldadura. Na Epedal existem células de trabalho que soldam *mig*, *tig* e por resistência. Os componentes que necessitem de pintura são enviados para outras fábricas que se dedicam à operação de pintura de componentes metálicos, sendo, portanto, o processo de pintura subcontratado.

Para além disto, devido ao fato de os materiais oxidarem, existem componentes que passam por um processo de zincagem para ganharem um revestimento resistente. No setor de zincagem também se realizam operações de lavagem de componentes para que possam entrar nos equipamentos sem resíduos.

Contudo, existem componentes que não podem ser unidos através da soldadura, sendo, portanto, unidos através de montagens realizadas em postos de trabalho específicos. Todos os componentes passam pelo setor de embalagem para que cheguem ao cliente nos prazos e quantidades pretendidos.

Existem diferentes zonas de armazenamento de materiais: armazém de matéria prima, armazém de produto semiacabado e armazém de produto acabado. O armazém de matéria prima abastece principalmente os setores de prensas, balancés, arames e tubos. O armazém de produto semiacabado fica perto da zona da soldadura para que sejam guardados e depois seguirem para os postos de trabalho que necessitem deles. Este armazém serve como ponto de desacoplamento visto que os produtos que chegam ao armazém são fabricados para *stock* e os produtos que saem do armazém visam satisfazer as quantidades encomendadas. Por último, existe uma zona de

armazenamento de produtos acabados onde são colocados os produtos embalados. Antes da expedição, a encomenda é preparada e colocada no armazém de expedição até à chegada do transporte que levará os produtos até ao cliente. A empresa tem um conjunto de outros departamentos e secções que servem de apoio à produção.

O fluxograma dos processos é apresentado na Figura 3.3, sistematizando a informação anteriormente descrita:

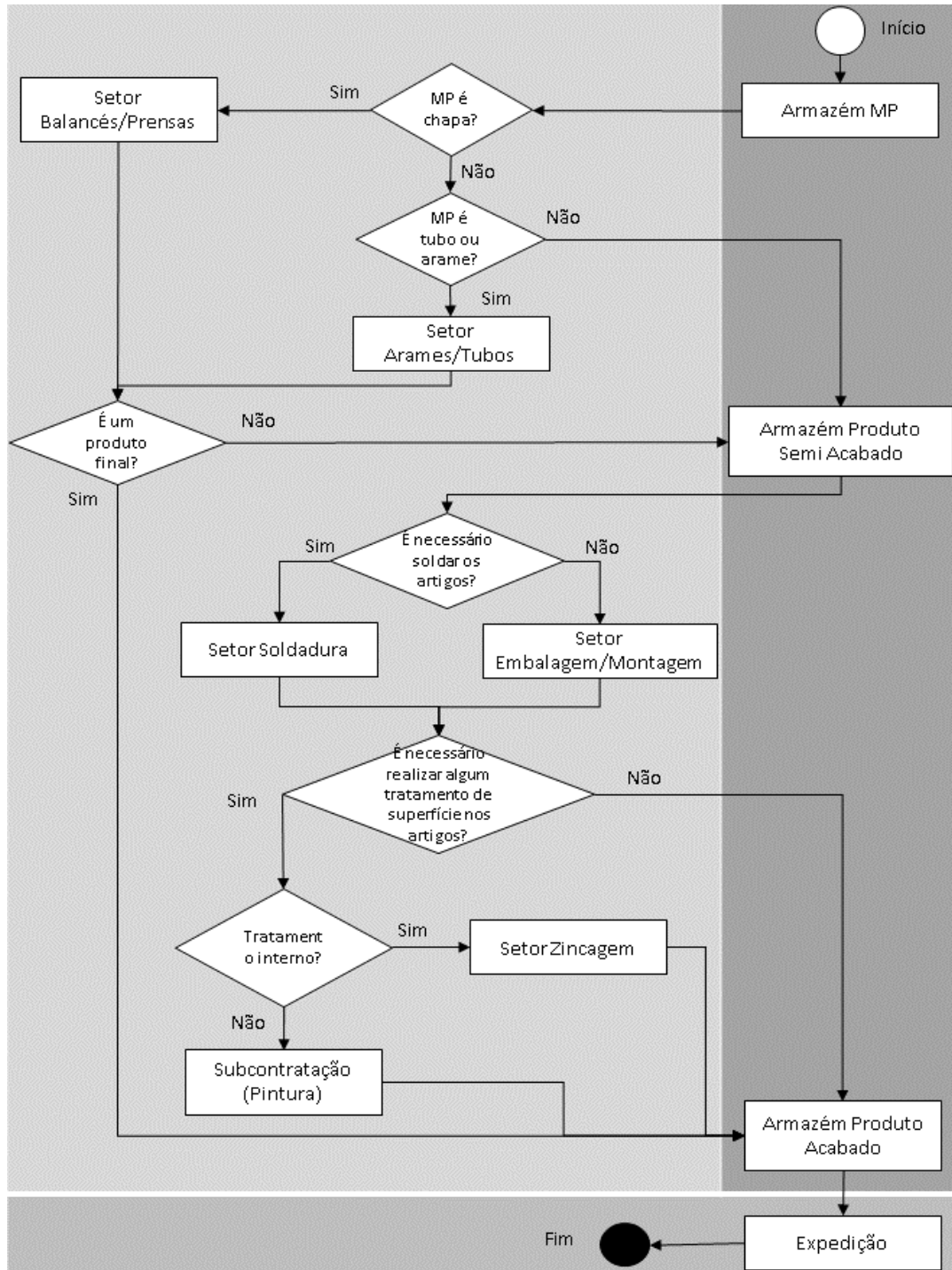


Figura 3.3 - Fluxograma dos processos produtivos da empresa

3.3 Melhoria de tempos

3.3.1 Apresentação da célula onde se realiza o estudo

A melhoria de tempos foca-se no posto de trabalho dedicado a um componente, cuja procura tem aumentado por parte do cliente. Esse componente é apresentado no diagrama da Figura 3.4, e é composto por uma chapa estampada e dois tubos. É um componente distribuído para empresas de montagem de componentes para o setor automóvel. Os dois tubos diferem entre si e são introduzidos nas duas ranhuras da chapa para que sejam soldados de forma a que todas as peças fiquem unidas.

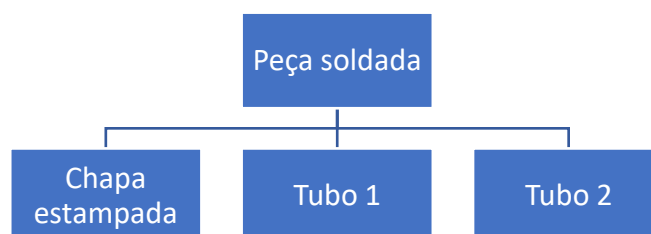


Figura 3.4 – Bill of material do componente em estudo

Fonte: Epedal S.A., 2017a

Para a soldadura dos componentes, existe um posto de trabalho dedicado a este produto. No posto em questão existem tarefas levadas a cabo pelo operador e pelos robots existentes. O operador tem como função abastecer o robot com componentes para serem soldados, inspecionar os cordões de soldadura realizados pelo robot de soldadura e colocar os componentes soldados nos contentores adequados. No posto existem 3 tipos de automatismos: mesa giratória, braços robóticos de soldadura e braço robótico para a marcação.

A mesa giratória tem como função segurar os componentes colocados pelo operador e levar esses componentes até aos robots de soldadura, girando 180º, ficando no lado oposto ao operador. Os robots de soldadura realizam os cordões de soldadura nos componentes. O robot de marcação seleciona os componentes soldados e leva-os até à marcadora que realiza a marcação de modo a rastrear os componentes soldados. Para além disto, o robot de marcação leva o componente até ao tapete de saída para que o operador faça a inspeção do mesmo.

Na Figura 3.5 é possível ver o fluxograma de um produto neste posto com a interação dos diferentes recursos.

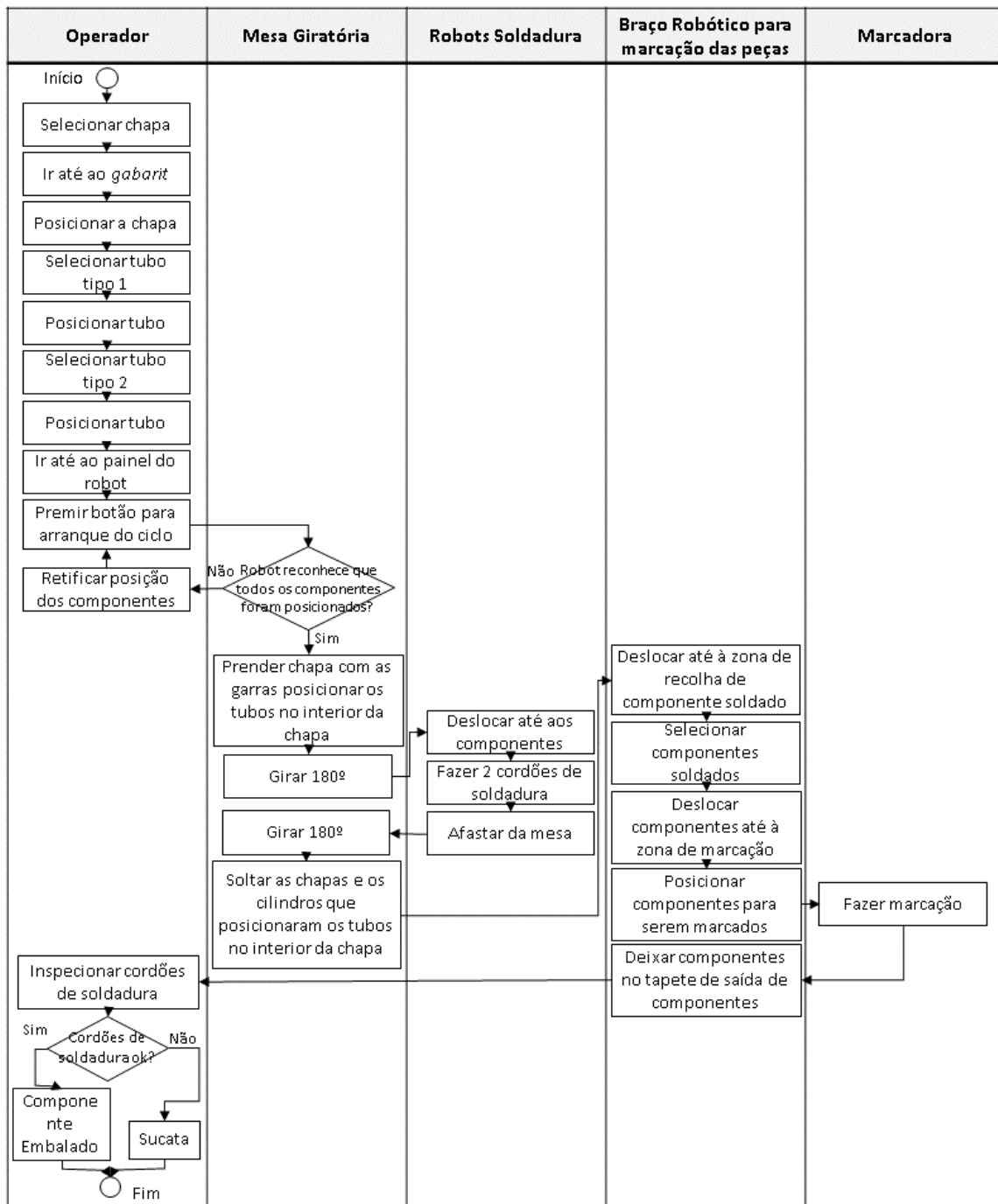


Figura 3.5 - Fluxograma do processo de soldadura do componente

O posto dedicado à soldadura do componente é um posto em que já existe bastante robotização ao nível da soldadura e da marcação da peça. Apesar disto, a ausência do operador compromete as tarefas dos robots, isto porque o fator humano interfere em 100% nas tarefas de abastecimento de componentes que são necessárias para a realização das tarefas seguintes. Se o operador não abastece a mesa giratória com componentes, a mesma não gira e não se dá início à soldadura.

De forma a conhecer o posto de trabalho foram recolhidos tempos do processo de soldadura, com um operador de referência e em situações de 100% de normalidade (sem paragens do equipamento por avaria ou falta de peças, nem paragens do operador). Os tempos foram recolhidos com o auxílio de um cronómetro ao milésimo do segundo.

Os elementos de trabalho considerados no estudo são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Descrição dos elementos de trabalho para a soldadura do componente

	ELEMENTOS DE TRABALHO (ET)	RECURSO	TAREFAS ASSOCIADAS
A	Abastecer mesa giratória com componentes		
A1	Abastecer com chapa estampada	Operador	1. Selecionar as chapas; 2. Posicionar as chapas.
A2	Abastecer com os tubos	Operador	1. Seleciona 2 tubos; 2. Posiciona os 2 tubos; 3. Seleciona outros 2 tubos; 4. Posiciona os 2 tubos; 5. Premir botão da caixa do robot.
B	Segurar componentes	Garra na maquete de soldadura	1. Agarrar chapa; 2. Tubos entram no interior da chapa; 3. Até ao início da rotação.
C	Rotação	Mesa Giratória	1. Início da rotação; 2. Fim da rotação.
D	Soldadura	Braço robótico soldadura	1. Deslocar até ao componente; 2. Realizar 2 cordões de soldadura; 3. Girar maquete de soldadura; 4. Realizar 2 cordões de soldadura; 5. Afastar dos componentes.
E	Remover componentes soldados		
E1	Deslocação até á zona dos componentes soldados	Braço de marcação	1. Sair da zona de marcação e ir até à zona dos componentes soldados; 2. Esperar que as garras que prendem as chapas e os tubos, saiam.
E2	Deslocar até à zona da marcação	Braço de marcação	1. Selecionar os componentes soldados; 2. Levar até à zona de marcação.
F	Marcação de duas peças	Marcador + Braço de marcação	1. Marcar uma peça; 2. Deslocar para a 2ª peça; 3. Marcar segunda peça.
G	Saída do produto acabado	Braço de marcação	1. Selecionar componentes marcados; 2. Posicionar no tapete.
H	Inspeção dos cordões de soldadura	Operador	1. Pegar no componente soldado; 2. Inspeccionar todos os cordões de soldadura; 3. Depositar na embalagem apropriada.

Desta forma, foi possível determinar os tempos de trabalho dos diferentes recursos. Os tempos medidos são apresentados em segundos, e o tamanho da amostra difere de tarefa para tarefa devido à dificuldade em detetar o fim de um elemento de trabalho e o início do seguinte. Para além disso, não foram medidas atividades frequentes porque o posto de trabalho não tem *setups*, visto ser um posto dedicado à soldadura de um único componente.

Foi elaborada a Figura 3.6, que esquematiza todas as tarefas realizadas que transformam ou movimentam as peças no cenário inicial, representando assim o *layout* do posto.

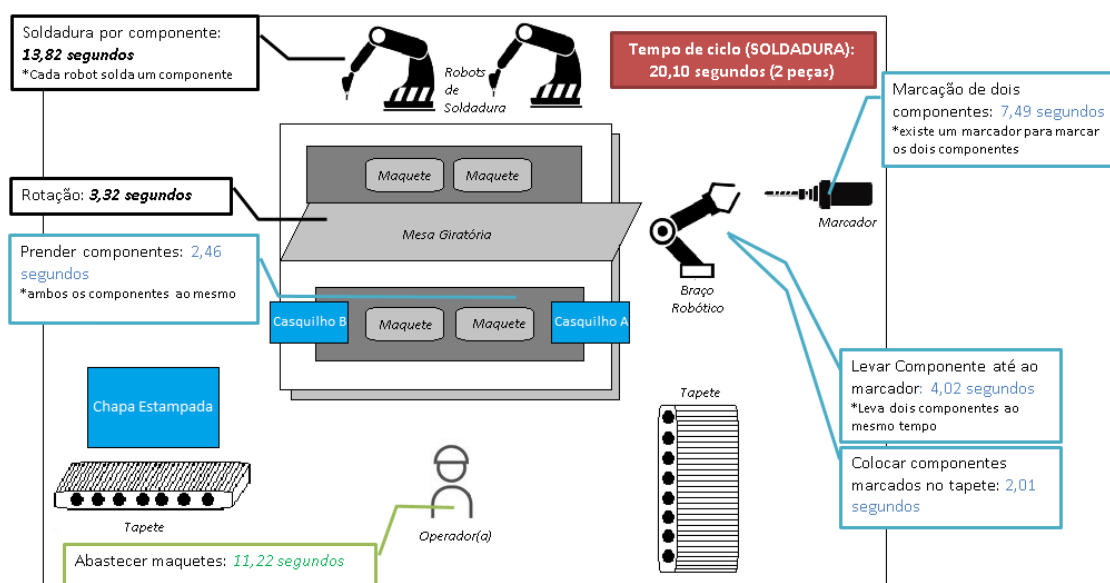


Figura 3.6 - Representação do cenário inicial da célula de soldadura

O tempo de ciclo apresentado, 20,10 segundos, foi medido tal como as tarefas realizadas no posto de trabalho, através de cronometragem. A tarefa E1 (movimento do braço robótico de marcação desde da zona de marcação até à zona de recolha de componentes) não é identificada na figura acima porque acontece em simultâneo com outras tarefas. A simultaneidade das tarefas será apresentada através do diagrama de *Gantt*.

A partir da figura anterior construiu-se o VSM apresentado na Figura 3.7. No VSM estão representados os 4 processos principais que acontecem na célula: abastecimento, soldadura e marcação (cujos tempos estão a verde). Estes são os processos em que há transformação dos componentes e decisões a tomar. Entre o processo de abastecimento e soldadura considerou-se o tempo em que a mesa giratória prende os componentes e o movimento de rotação da mesa para que os componentes cheguem até aos robots de soldadura. Entre o processo de soldadura e marcação considerou-se o tempo de rotação da mesa e o tempo gasto pelo braço robótico que leva os componentes soldados até à marcadora. Por fim, entre o processo de marcação e de inspeção considerou-se o tempo em que o braço robótico se afasta da marcadora e coloca as peças no tapete de saída da célula. Existe um armazém que armazena os componentes necessários para o processo, dos quais a chapa é produzida internamente e os tubos vêm de um fornecedor. Os componentes soldados são embalados e vão diretamente para o cliente.

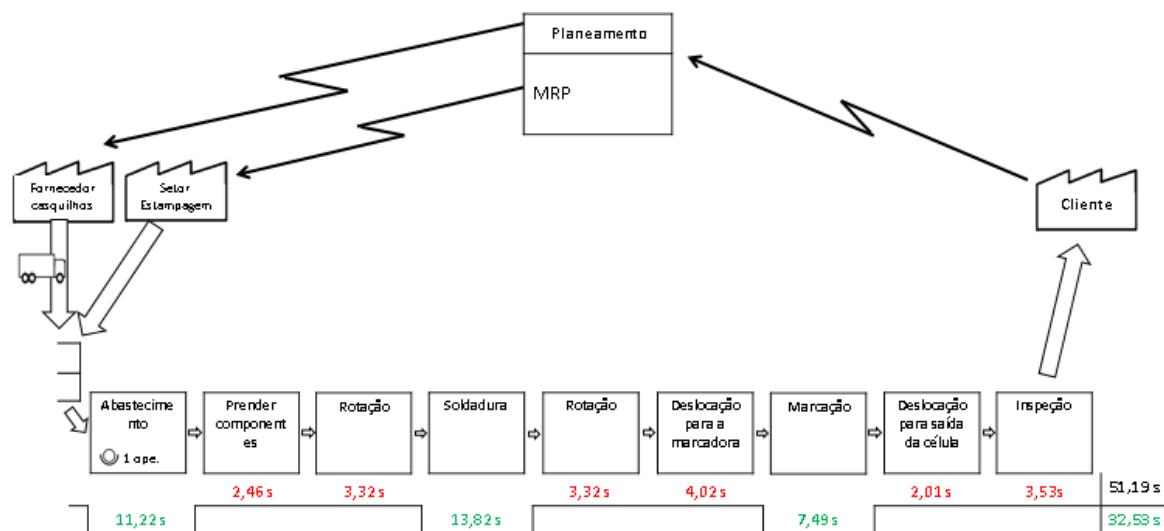


Figura 3.7 - VSM do cenário inicial da célula de soldadura

No VSM todas as tarefas estão representadas nas caixas, em que cada caixa tem associado o tempo médio que a respetiva tarefa demora a ser realizada. Os tempos a vermelho correspondem a atividades que não acrescentam valor para o componente (movimentos e deslocações), e a verde estão os tempos das atividades que acrescentam valor ao produto. A partir do VSM apresentado, podemos concluir que o tempo total de processamento de duas peças é 51,19 segundos, dos quais 32,53 segundos representam o tempo de transformação dos componentes que acrescenta valor ao produto. Os valores anteriores foram calculados através da soma dos tempos médios das tarefas correspondentes.

As tarefas realizadas na célula de trabalho são realizadas em paralelo de forma a minimizar tempos de inatividade. O diagrama de *Gantt* apresentado na Figura 3.8 representa as atividades realizadas em paralelo e a relação entre o fim e início de tarefas, ao longo de 2 ciclos. A atividade de inspecionar os cordões de soldadura não é contemplada no diagrama de *Gantt* pelo facto de ser realizada por outro operador que também embala as peças para enviar aos clientes.

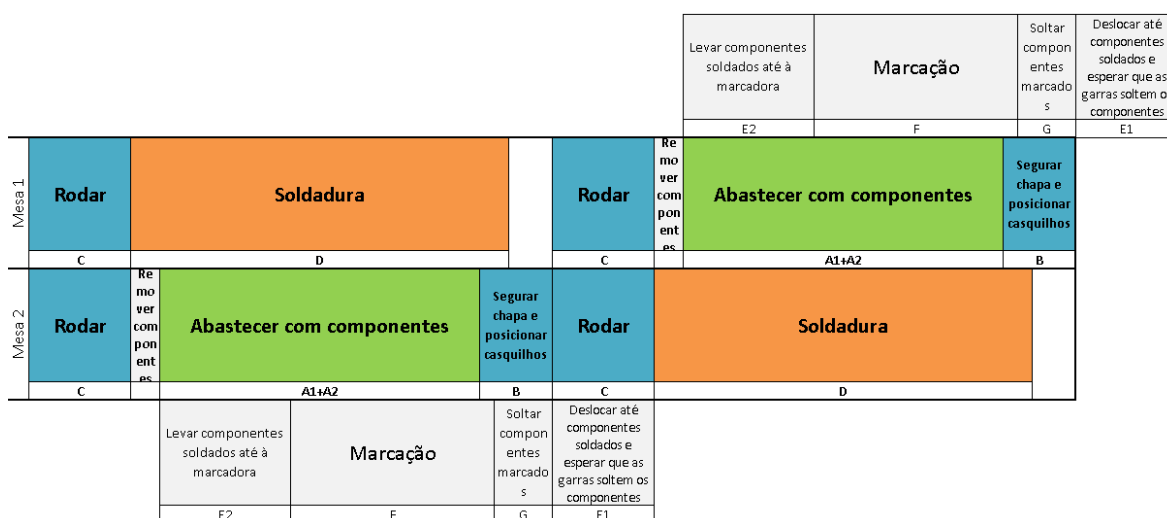


Figura 3.8 - Diagrama de Gantt das atividades realizadas na célula de soldadura

No diagrama de *Gantt* da Figura 3.8 cada cor usada simboliza um recurso diferente. A verde estão representadas as tarefas do operador, a azul as tarefas da mesa giratória, a laranja as tarefas dos robots de soldadura e a cinza as tarefas do braço robótico e da marcadora.

Assim sendo, o cenário inicial tem um tempo de ciclo de 20 segundos, em cada ciclo saem da célula duas peças. Tendo em conta a procura por parte dos clientes e o tempo disponível para produzir, o *takt time* é de 18,23 segundos (valor apresentado pela empresa). O posto de trabalho não está preparado para a crescente tendência de consumo que se prevê. Para prevenir um possível problema de capacidade, a empresa tem como objetivo ter um tempo de ciclo de 15 segundos.

Num turno de 8 horas, das quais são consideradas 7,33 de trabalho efetivo, são soldadas:

$$\text{Peças por turno} = \frac{60\text{s} \times 60\text{min} \times 7,33\text{h}}{18,23 \text{ s}} \times 2 \text{ peças} = 2.895 \text{ peças}$$

O objetivo é:

$$\text{Peças por turno} = \frac{60\text{s} \times 60\text{min} \times 7,33\text{h}}{15 \text{ s}} \times 2 \text{ peças} = 3.518 \text{ peças}$$

De forma a alcançar o objetivo de aumento da capacidade produtiva, de seguida serão apresentados os problemas encontrados no posto de trabalho, para posteriormente analisar uma possível melhoria do mesmo.

1.3.2 Análise dos problemas encontrados

Pela análise do diagrama de *Gantt* da Figura 3.8 existem algumas conclusões a serem retiradas: com o atual tempo de soldadura e tempo de marcação, o objetivo de ter um tempo de ciclo de 15 segundos torna-se impossível. O tempo de soldar os componentes é de 13,36 segundos, adicionando a rotação de 3,78 segundos o tempo passa para 17,14 segundos, ultrapassando o tempo de ciclo pretendido. O braço robótico de marcação tem tempo total de 18,33 segundos também ultrapassando o tempo de ciclo.

Para além disso, existem tempos de espera e tempos improdutivos que devem ser reduzidos e/ou eliminados, de forma a melhorar a eficiência do posto. Assim sendo, a vermelho, estão representados os tempos improdutivos por ciclo. Os tempos assinalados na Figura 3.9 representam a espera que existe em cada mesa. Após os robots de soldadura soldarem os componentes, estes ficam parados, entre 1 a 2 segundos, esperando que a mesa rode para que traga outros componentes para serem soldados. Caso o operador demore mais tempo a abastecer com componentes, a outra mesa ficará inativa, após a soldadura, durante mais tempo.

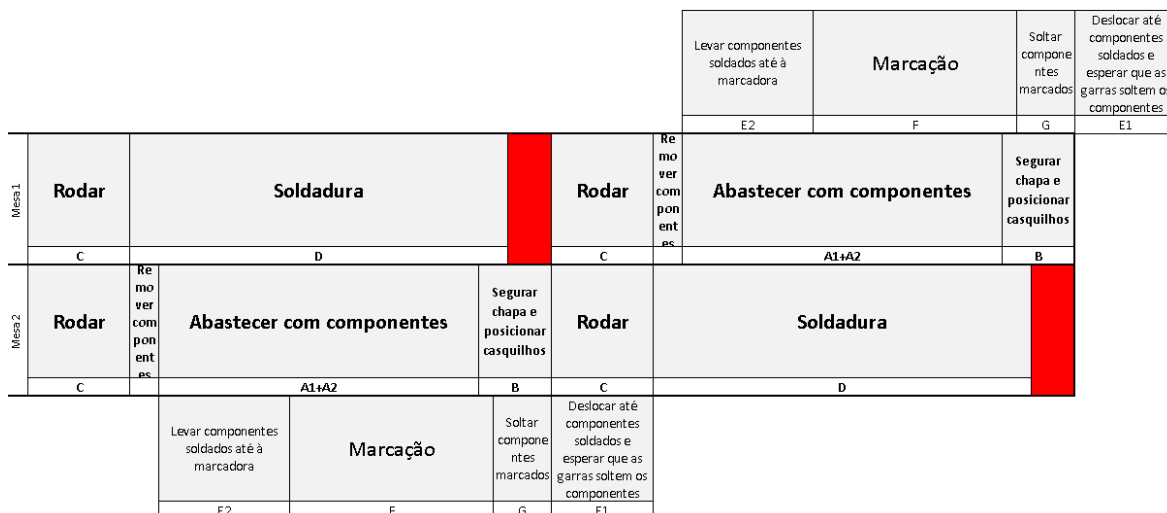


Figura 3.9 - Diagrama de Gantt: representação dos tempos improdutivos durante os ciclos

Ainda assim, existem paragens que não são visíveis no diagrama de *Gantt* apresentado. Para os analisar melhor, construiu-se um diagrama por recurso, representado na Figura 3.10.

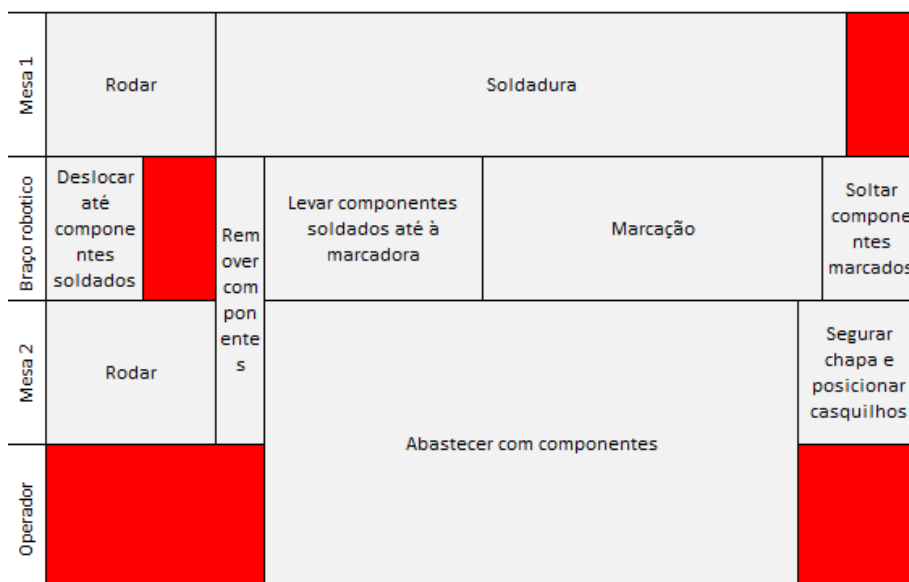


Figura 3.10 - Diagrama de Gantt: representação dos tempos improdutivos, por recurso

É possível identificar um caminho crítico que, caso as tarefas não sejam realizadas dentro do tempo previsto, originará tempos de espera maiores. Esse caminho crítico é representado pelas atividades a realizar na mesa onde são retirados os componentes soldados e abastecidos os componentes. A atividade que pode sofrer maiores variações é a que tem a influência do operador, que é o abastecimento de componentes, pelo facto de poder cair algum componente no chão, que obriga o operador a corrigir a situação, demorando mais tempo do que o tempo médio medido. Caso o operador demore mais tempo a abastecer, a tarefa de segurar os componentes acontecerá mais tarde, o que leva a que a mesa oposta fique parada durante mais tempo.

A paragem durante a tarefa “Rodar” é necessária. Durante a rotação da mesa nenhum outro recurso interfere na célula, por questões de segurança. O principal objetivo da rotação é afastar a soldadura do operador, protegendo-o. São 3,78 segundos, pertencentes ao tempo de ciclo, em que nem o operador, nem os robots podem atuar.

Durante esse período de tempo, o braço robótico de marcação fica à espera que a mesa pare de rodar para que possa remover os componentes soldados. Só após a saída do robot de soldadura é que o operador pode abastecer de novo o posto, sendo que esteve parado desde do último ciclo em que abasteceu componentes.

Tendo em conta as esperas que existem entre recursos, de seguida serão apresentadas algumas propostas para otimizar os tempos dos processos identificados na Figura 3.10. Algumas das propostas foram implementadas na empresa, cuja implementação e respetivos resultados são apresentados após a apresentação de cada proposta de diminuição de tempos.

1.3.3 Propostas de diminuição do tempo de marcação

Tendo em conta que o objetivo é reduzir tempo de ciclo, as propostas de melhoria passam pela diminuição de tempos operativos e redução de tempos de espera. O recurso com maior tempo de tarefas é o braço robótico de marcação, de maneira que foi por este recurso que se começou o trabalho de melhoria.

Das atividades realizadas pelo braço robótico de marcação, o tempo de marcação pode ser diminuído através das seguintes alterações:

- Duplicação da marcadora (conceito de duplicação do recurso gargalo);

Com a utilização de uma segunda marcadora, os componentes soldados seriam marcados ao mesmo tempo. Sendo que o tempo médio de marcação recolhido foi de 7,52 segundos, em que primeiro é marcada uma peça, depois o braço robótico posiciona a segunda peça e de seguida é marcada a segunda peça, é possível diminuir o tempo de marcação para metade com a duplicação da marcadora. Assim, o tempo total de marcação passa de 7,52 para 3,76 segundos ($7,52/2=3,76$). Não foi possível perceber que parte do tempo era dedicado à movimentação de peças, na marcadora, mas com a duplicação esse movimento deixaria de ocorrer.

- Redução do tamanho e/ou número de caracteres marcados nos componentes;

Durante os 7,52 segundos são marcadas nas duas peças 12 caracteres que permitem rastrear as peças de modo a que se saiba o dia, hora e mesa em que foram soldados. Considerando que dos 7,52 segundos, 3,76 segundos são para marcar os 12 caracteres ($7,52/2=3,76$), cada caracter demora 0,31 segundos.

Considerando a eliminação de 3 dos caracteres (por exemplo), é possível diminuir o tempo de marcação em 1 segundos (0,91 segundos), por peça. Mantendo o cenário inicial, é possível eliminar 2 segundos ao tempo de marcação eliminando 3 dos caracteres inscritos na peça. Quantos mais caracteres forem possíveis de eliminar, maior será a diminuição do tempo de marcação.

Não foi possível estudar o impacto da redução do tamanho dos caracteres por desconhecer a relação entre o tempo de marcação e o tamanho dos caracteres marcados. Ainda assim, com caracteres menores será possível diminuir o tempo de marcação.

- Redução e/ou eliminação de movimentos do braço robótico;

Para além do que já foi dito, o braço robótico de marcação realiza movimentos quando desloca as peças entre a marcadora porque aproxima a peça que irá ser marcada, afasta a peça marcada após a marcação, aproxima a segunda peça que irá ser marcada e depois volta a afastar-se da marcadora. Assim sendo, a redução do percurso realizado, acompanhado de um aumento da

velocidade a que o braço robótico se desloca também permite reduzir o tempo operativo do braço robótico.

Assim sendo, a proposta de melhoria incide sobre a melhoria da rota que o braço robótico realiza nas tarefas que executa. Esta rota não foi possível de definir pelo facto do braço robótico realizar movimentos nos 3 eixos cartesianos (direções x, y e z), pelo que se torna difícil de representar em papel. Para além disso, não é possível quantificar o impacto da proposta por se desconhecer a relação entre os movimentos e o tempo de marcação.

- Alteração do tipo de manipulador;

O tipo de manipulador não afeta as atividades de marcação, mas possibilita que o braço robótico demore mais ou menos tempo na realização de outras tarefas que poderão fazer com que se atrase o início da marcação. Assim, o facto de o manipulador do braço robótico ser em garras, faz com que existam microssegundos despendidos em que as garras abrem e fecham para segurar as peças. A substituição das garras por íman levaria a que esse tempo fosse ainda menos. A implementação desta solução levaria, no entanto, a um investimento adicional. Não foi possível quantificar o impacto da proposta por se desconhecer a relação entre o movimento da garra e o tempo despendido.

1.3.4 Implementação de cenário de diminuição do tempo de marcação

Das propostas apresentadas, a empresa optou por reduzir o tamanho e número de caracteres, visto ser a solução que não implica investimento em equipamentos e que, para além de economizar tempo, permite também melhorar a codificação para que com menos caracteres seja possível continuar a rastrear os artigos.

As alterações feitas foram ao nível da programação da marcadora para que esta realiza-se a nova sequência de caracteres. Para além disso, foi possível aumentar a velocidade do braço robótico, através da alteração no sistema computacional, sem interferir com os restantes recursos.

Com a alteração feita, o tempo médio de marcação das duas peças passou de 7,52 para 5,24 segundos, levando a uma diminuição de 2,28 segundos no tempo de marcação (diminuição de 30% no tempo de marcação).

1.3.5 Propostas de diminuição do tempo de abastecimento

Através de uma análise feita com o operador que abastece o posto de trabalho, percebeu-se que existe uma certa dificuldade em colocar os tubos, devido à sua dimensão reduzida e ao tempo necessário para que sejam posicionados corretamente. Apesar de o operador não ser o recurso gargalo do posto em análise, caso seja possível melhorar a performance do mesmo, poder-se-á melhorar o trabalho que o operador realiza.

Sendo assim, é necessário descrever as tarefas realizadas pelo operador, segundo a metodologia SMED. O seguinte diagrama de processo detalha as tarefas realizadas pelo operador para abastecer o posto de trabalho com componentes:

Descrição da atividade	Operação	Transporte	Inspeção	Atraso	Armazenamento	Tempo (seg)
Espera que braço robotico de marcação retire as peças soldadas do ciclo anterior	○	➡	□	●	▽	2
Selecionar chapas	●	➡	□	D	▽	1
Ir até gabarits de soldadura	○	➡	□	D	▽	1,5
Posicionar chapas	●	➡	□	D	▽	1
Selecionar dois tubos tipo 1	●	➡	□	D	▽	2
Posicionar os dois tubos	●	➡	□	D	▽	1,5
Selecionar dois tubos tipo 2	●	➡	□	D	▽	2
Posicionar os dois tubos	●	➡	□	D	▽	1,5
Deslocar até ao botão de validação	○	➡	□	D	▽	1
Premir botão de validação de componentes	●	➡	□	D	▽	0,5
Garra prendem as chapas e cilindros posicionam os casquilhos no interior da chapa	●	➡	□	D	▽	2

Figura 3.11 - Diagrama de processo: abastecimento (cenário inicial)

Os valores apresentados no diagrama de processos da Figura 3.11 são retirados de um vídeo, pelo que a soma dos tempos das tarefas pode diferir dos valores apresentados na Figura 3.11. Com a sequência do diagrama da Figura 3.11, o operador demora 11 segundos a abastecer a célula.

Tendo em conta a dimensão dos componentes, a inversão da sequência de abastecimento, de forma a utilizar o tempo de rotação para o operador selecionar os tubos, pode permitir ao operador ganhar o tempo que despendia a visualizar os tubos para que fossem colocados corretamente. O fato do operador selecionar os tubos durante a rotação da mesa, leva a uma alteração nas tarefas que o operador realiza, sendo que passa primeiro a abastecer tubos (A2) e depois a abastecer as chapas (A1).

Esta alteração obrigará o operador a sair da célula para selecionar as chapas, pelo que a zona com chapa estampada poder-se-ia aproximar da célula, posicionando-se, mesmo, no seu interior. Assim, quando o operador tiver as mãos livres dos tubos, consegue facilmente selecionar duas chapas para completar o abastecimento.

1.3.6 Implementação de cenário de diminuição do tempo de abastecimento

A alteração da sequência de abastecimento leva ao diagrama de processo, representado na Figura 3.12. É possível perceber que o número de tarefas diminuiu, visto que agora o operador consegue selecionar todos os tubos, enquanto é finalizada a soldadura e a rotação da mesa.

Com a alteração na sequência de atividades, o operador tem mais tempo para orientar as peças, deixando de se sentir pressionado por não querer parar os restantes recursos da célula.

Analisando as tarefas de abastecimento de chapa e tubos em separado, a alteração na sequência das tarefas leva a que a ação de validação passe a fazer parte da atividade de abastecimento de chapa, quando antes fazia parte da atividade de abastecimento de tubos.

Descrição da atividade	Operação	Transporte	Inspeção	Atraso	Armazenamento	Tempo (seg)
Espera que braço robotico de marcação retire as peças soldadas do ciclo anterior	○	➡	□	●	▽	2
Selecionar todos os tubos	●	➡	□	D	▽	3
Ir até gabarits de soldadura	○	➡	□	D	▽	0,5
Posicionar todos os tubos	●	➡	□	D	▽	2
Selecionar as chapas	●	➡	□	D	▽	0,5
Posicionar as chapas	●	➡	□	D	▽	0,5
Deslocar até ao botão de validação	○	➡	□	D	▽	1
Premir botão de validação de componentes	●	➡	□	D	▽	0,5
Garras prendem as chapas e cilindros posicionam os casquilhos no interior da chapa	●	➡	□	D	▽	2

Figura 3.12 - Diagrama de processo: abastecimento (cenário implementado)

Tabela 3.2 - Comparação das tarefas de abastecimento entre cenários

CENÁRIO INICIAL		CENÁRIO MELHORADO	
1º passo:		1º passo	
A1	1. Selecionar as chapas; 2. Posicionar as chapas;	A2	1. Selecciona os 4 tubos; 2. Posiciona os 4 tubos;
2º passo:		2º passo:	
A2	1. Selecciona 2 tubos; 2. Posiciona 2 tubos; 3. Selecciona 2 tubos; 4. Posiciona 2 tubos; 5. Premir botão da caixa do robot.	A1	1. Selecionar as chapas; 2. Posicionar as chapas; 3. Premir botão da caixa do robot.

O fato da atividade de abastecimento ter mais uma tarefa incluída fez com que o tempo médio de execução aumentasse. O tempo médio do abastecimento de chapa passou de 3,08 segundos para 3,22 segundos (aumento de 0,14 segundos). Apesar disto, o tempo médio de abastecimento de tubos sofreu uma diminuição de 4,7 segundos (58%), passando de 8,13 segundos para 3,43.

O tempo total de abastecimento de componentes (a soma dos tempos de abastecimento de chapa e tubos) passou do valor médio de 11,22 segundos para 6,64 segundos, permitindo ao operador realizar outras tarefas no posto como a inspeção dos cordões de soldadura, por exemplo.

O abastecimento de componentes continua a ser composto por duas tarefas: o abastecimento de chapas e o abastecimento de tubos. A medição dos tempos foi realizada nas duas tarefas e não no conjunto que representa o abastecimento de componentes. Assim sendo, os valores apresentados como tempo de abastecimento são a soma dos valores do abastecimento da chapa e dos tubos, para cada um dos cenários.

O facto de os operadores usarem o tempo de seleção dos tubos durante a rotação da mesa permitiu rentabilizar o tempo de abastecimento e diminui o tempo em que os operadores verificam se colocaram os tubos nos cilindros respetivos, erro que poderia surgir no caso dos operadores trocarem os tubos.

1.3.7 Propostas de diminuição do tempo de soldadura

Se a melhoria de tempos do braço robótico e da sequência de abastecimento de componentes não for acompanhada de uma melhoria no tempo de soldadura, os tempos improdutivos da célula vão aumentar, visto que com a redução do tempo operativo do braço robótico, este irá esperar mais tempo para que possa remover os componentes soldados.

Assim, torna-se necessário perceber como otimizar a soldadura, sem mexer em parâmetros como tensão, velocidade ou fio de soldadura, que podem interferir com a qualidade do cordão de soldadura resultante. Para isso, a metodologia SMED é útil no sentido em que o objetivo é identificar tarefas que possam deixar de ser realizadas, e por isso foi a metodologia utilizada para elaborar as propostas a seguir descritas.

O tempo de soldadura é o tempo em que os robots de soldadura realização cordões de soldadura e os movimentos que os robots fazem para se aproximarem ou afastarem das peças. O que acontece na zona de soldadura não é possível ser visualizado diretamente, devido a questões de segurança. Ainda assim, para descobrir aquilo que acontece na zona de soldadura foi necessário filmar o ciclo. A filmagem resume-se ao diagrama de processos da Figura 3.13.

O diagrama de processos da Figura 3.13 permite concluir que dos 13 segundos identificados como soldadura, apenas 8 são utilizados para a realização dos cordões de soldadura. Existem muitas deslocações que fazem aumentar o tempo total da operação.

Descrição da atividade	Operação	Transporte	Inspeção	Atraso	Armazenamento	Tempo (seg)
Mesa gira 180º	○	➡	□	D	▽	3
Mesa descai para facilitar a soldadura	○	➡	□	D	▽	1
Robots de soldadura deslocação-se até às peças	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 1º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura deslocam-se para realizar o 2º cordão de soldadura	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 2º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura afastam-se da mesa	○	➡	□	D	▽	0,5
Mesa gira sobre ela 180º	○	➡	□	D	▽	1
Robots de soldadura aproximam-se das peças	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 3º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura deslocam-se para realizar o 4º cordão de soldadura	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 4º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura afastam-se da mesa	○	➡	□	D	▽	0,5
Mesa gira 180º	○	➡	□	D	▽	3
Cilindros que seguram os casquilhos saem da peça	○	➡	□	D	▽	1

Figura 3.13 - Diagrama de processo: soldadura (cenário inicial)

Sendo assim, a diminuição do tempo de soldadura pode ser obtida a partir da utilização dos princípios do SMED, em que são eliminados procedimentos desnecessários e melhorando tempos na execução de tarefas necessárias. No caso prático, a aplicação do SMED é ao nível da:

- Eliminação de movimentos desnecessários dos robots e da mesa;
- Redução do número e do tempo de movimentações dos robots de soldadura;
- Diminuição do tempo da realização dos cordões de soldadura, caso seja possível alterar parâmetros como a velocidade sem afetar a soldadura;

Para além disto, tal como foi referido no tópico de análise dos problemas, existe uma atividade que obriga a paragem de muitos dos recursos da célula: a rotação de 180º da mesa. Enquanto a mesa roda, o operador não pode intervir no posto. Para além do operador, o braço robótico de marcação não remove as peças e os robots de soldadura não começam a soldar.

A rotação da mesa tem como principal função afastar a soldadura do operador, de modo a tornar a célula segura. Assim sendo é uma atividade que, apesar de obrigar os restantes recursos a pararem, permite a segurança dos intervenientes.

Assim sendo, a redução e/ou eliminação da rotação permitirá reduzir o tempo de ciclo, deixando de haver 3,78 segundos em que os recursos não atuam na célula.

A forma de reduzir o tempo de rotação passa por aumentar a velocidade a que se realiza a rotação ou eliminar a rotação ou diminuir o ângulo de rotação.

- Eliminar a rotação

Para a eliminação total da rotação, a deslocação dos robots de soldadura para a zona próxima do abastecimento permitirá que a soldadura continue a ser realizada. A eliminação da rotação obriga a um redesenho da célula, resultando na situação representada na Figura 3.14.

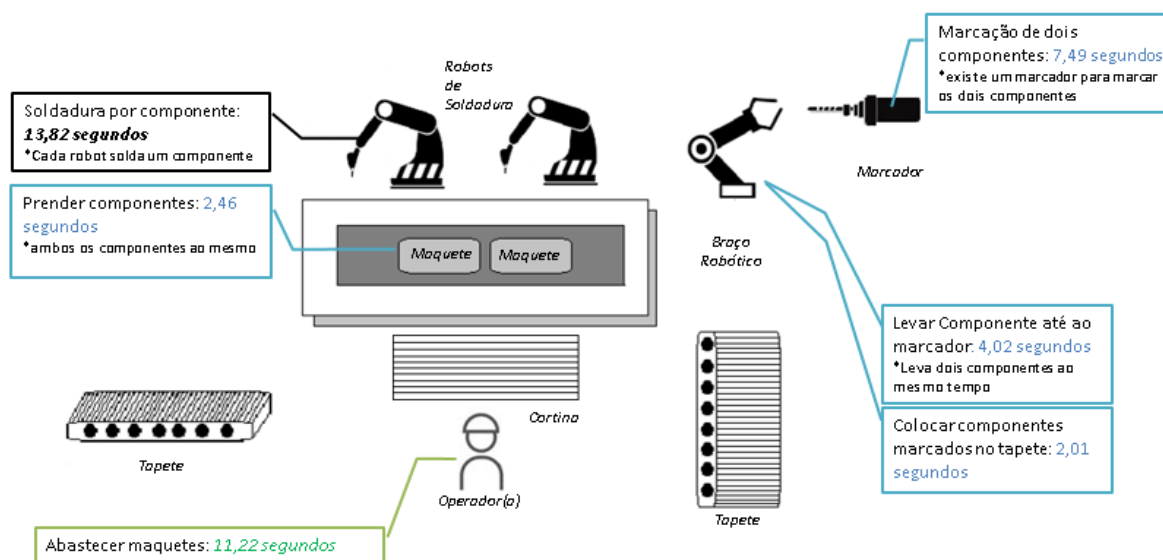


Figura 3.14 - Representação da célula de soldadura, com a eliminação da rotação

Na representação é adicionada uma cortina de modo a proteger o operador durante a soldadura. Quando não existe nenhum recurso a atuar na mesa, a cortina levanta-se para que o operador possa abastecer o posto. Quando é feita a soldadura, a cortina baixa protegendo o operador. Mas com esta solução não é possível realizar tarefas em paralelo como mostra o diagrama de Gantt representado na Figura 3.15.

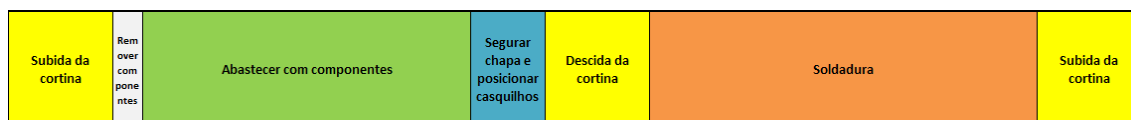


Figura 3.15 - Diagrama de Gantt das atividades sem a rotação da mesa giratória

A tarefa de segurar chapa e posicionar tubos tem de se manter devido ao facto de a mesa girar 180º visto que os cordões de soldadura estão na frente e verso da peça. Com esta proposta o

tempo de ciclo passa a ser aproximadamente 27 segundos (tempo abastecimento + segurar chapas + soldadura = 11,22 + 2,46 + 13,36). Assim sendo,

$$\text{Peças por turno} = \frac{60\text{s} \times 60\text{min} \times 7,33\text{h}}{27\text{ s}} \times 2 \text{ peças} = 1.954 \text{ peças}$$

Verifica-se que, ainda assim, a proposta não permite garantir as quantidades exigidas pelas encomendas.

- Diminuir o ângulo de rotação

A diminuição do ângulo de rotação, a acontecer, será desde dos 0º até aos 180º. Para facilitar o estudo, o ângulo de rotação passará a ser de 90º. Isto implica um redesenho da célula de trabalho de forma a que os recursos possam realizar as suas tarefas.

Sendo a rotação de 90º, ao longo do trabalho a mesa rodará 4 vezes para voltar à posição inicial. As 4 vezes que a mesa fica parada, estão representados por estações de trabalho, que representam os momentos em que é possível trabalhar sobre os componentes: abastecer componentes, soldadura e marcação. A primeira estação serve para abastecer a mesa com componentes. De seguida dar-se-á a rotação para aproximar os componentes dos robots de soldadura. A soldadura passará a ser realizada em duas estações de trabalho, estando os 2 robots em cada uma dessas estações: um dos robots solda a parte da frente da chapa e o outro robot solda aparte de trás da chapa. A quarta estação de trabalho servirá para que o braço robótico remova os componentes soldados e por fim dá-se a última rotação do ciclo que leva a mesa sem componentes para que seja abastecida. A imagem da Figura 3.16 esquematiza as ações nas diferentes estações.

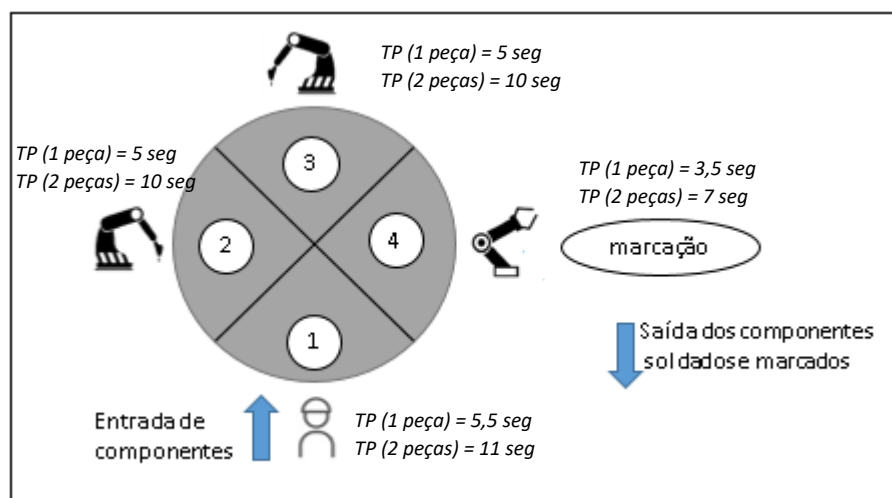


Figura 3.16 - Representação da proposta de redução do ângulo de rotação

Com a alteração, a rotação passará a demorar metade do tempo de rotação de 180º. Assim, rodando 90º o tempo de rotação estima-se ser de 1,89 segundos. Este tempo é estimado devido ao facto de a rotação estar condicionada pelo tempo de aceleração e desaceleração da mesa.

O tempo de soldadura também sofre uma alteração. Agora cada robot está responsável pela soldadura de um dos lados da peça. Quando a peça passa de um robot para o outro, simultaneamente ocorre o movimento de rotação da peça para que a parte não soldada fique acessível ao próximo robot.

Caso seja soldado um componente de cada vez, o tempo de soldadura será de 5 segundos em cada robot (2 segundos por cordão mais 1 segundo para movimentos). Se são soldados dois

componentes ao mesmo tempo, o tempo de soldadura passa para os 10 segundos (8 segundos para realizar 4 cordões de soldadura – 2 cordões por peças - e 2 segundos em movimentos).

Visto que todos os postos podem trabalhar em simultâneo, o seguinte esquema representa um possível diagrama de *Gantt* para o início de trabalho no posto. P1, P2, P3 e P4 são as estações de trabalho representadas na Figura 3.17. O tempo entre rotações é o tempo da maior tarefa do posto: tanto no cenário em que é soldada uma peça de cada vez como no cenário em que são soldadas duas peças, a tarefa com maior tempo de processamento é o abastecimento de componentes.

P1	Rodar	Abastecer componentes	Rodar	Soldar dois cordões	Rodar	Soldar outros dois cordões	Rodar	Remover /Marcação
P2	Rodar		Rodar	Abastecer componentes	Rodar	Soldar dois cordões	Rodar	Soldar outros dois cordões
P3	Rodar		Rodar		Rodar	Abastecer componentes	Rodar	Soldar dois cordões
P4	Rodar		Rodar		Rodar		Rodar	Abastecer componentes
	2 s	maior tempo de processamento	2 s	maior tempo de processamento	2 s	maior tempo de processamento	2 s	maior tempo de processamento

Figura 3.17 - Representação de diagrama de Gantt com a diminuição do ângulo de rotação

Com a diminuição da rotação é possível obter uma peça de 13 em 13 segundos, soldando duas peças de cada vez. No caso de ser soldada uma peça de cada vez, sairá uma peça de 7,5 em 7,5 segundos. Estes valores são obtidos através da soma do tempo de rotação com o tempo da atividade cujo processamento é maior, que em ambos os cenários é o tempo de abastecimentos de componentes.

$$\text{Peças por turno (1 peça)} = \frac{60s \times 60min \times 7,33h}{7,5 s} = 3.518 \text{ peças}$$

$$\text{Peças por turno (2 peças)} = \frac{60s \times 60min \times 7,33h}{13 s} \times 2 \text{ peças} = 4.059 \text{ peças}$$

Em ambos os cenários, o tempo de ciclo é menor do que o tempo de ciclo do cenário inicial, sendo mais baixo do que o tempo de ciclo objetivo pretendido pela empresa (tempo ciclo objetivo = 15 segundos).

Tendo em conta os valores apresentados de peças por turno, a solução de diminuição do ângulo de rotação permite alcançar o objetivo de cumprimento do tamanho de encomendas, independentemente do número de peças que são processadas nos postos.

O cenário foi estudado considerando o tempo de abastecimento igual a 11 segundos, para duas peças. Utilizando o tempo de abastecimento obtido através da melhoria do tempo de abastecimento, apresentado anteriormente, para a proposta em análise o tempo de maior

processamento do posto de trabalho deixa de ser o abastecimento para ser a soldadura, independentemente do número de peças feitas por ciclo.

Seja a soldadura a atividade com maior tempo de processamento, o tempo de ciclo passa a ser: cenário com uma peça por ciclo, $2+5=7$ segundos (tempo de rotação+soldadura); cenário com duas peças por ciclo, $2+10=12$ segundos.

Sendo assim, os cenários que permitem responder à procura do cliente são:

- Eliminação dos movimentos desnecessários dos robôs de soldadura;
- Diminuição do ângulo de rotação para 90° em que:
 - Tendo o tempo de abastecimento = 11 segundos,
 - 1 peça por ciclo: tempo de ciclo de 7,5 segundos;
 - 2 peças por ciclo: tempo de ciclo de 13 segundos;
 - O recurso gargalo é o operador que abastece a célula com componentes;
 - Tendo o tempo de abastecimento = 6 segundos,
 - 1 peça por ciclo: tempo de ciclo de 7 segundos;
 - 2 peças por ciclo: 12 segundos;
 - Os recursos gargalos são os dois robôs de soldadura.

1.3.8 Implementação de cenário de diminuição do tempo de soldadura

As alterações no tempo de soldadura tiveram como base o diagrama de processo da Figura 3.18, de modo a eliminar todas as tarefas e movimentos que não acrescentam valor para os componentes.

Descrição da atividade	Operação	Transporte	Inspeção	Atraso	Armazenamento	Tempo (seg)
Mesa gira 180°	○	➡	□	D	▽	3
Robots de soldadura deslocação-se até às peças	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 1º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura deslocam-se para realizar o 2º cordão de soldadura	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 2º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura afastam-se da mesa	○	➡	□	D	▽	0,5
Mesa gira sobre ela 180°	○	➡	□	D	▽	1
Robots de soldadura aproximam-se das peças	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 3º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura deslocam-se para realizar o 4º cordão de soldadura	○	➡	□	D	▽	0,5
Robots de soldadura realizam 4º cordão	●	➡	□	D	▽	2
Robots de soldadura afastam-se da mesa	○	➡	□	D	▽	0,5
Mesa gira 180°	○	➡	□	D	▽	3
Cilindros que seguram os casquilhos saem da peça	○	➡	□	D	▽	1

Figura 3.18 - Diagrama de processo: soldadura (cenário implementado)

A rotação sofreu um ligeiro aumento de velocidade, ainda que não muito significativo, dado que o tempo de aceleração e desaceleração tem de ser cumprido para o bom funcionamento da

célula. Com as modificações, o tempo de soldadura passou dos 13,82 segundos para 13,47 segundos e a rotação passou dos 3,32 segundos para 2,84 segundos.

1.3.9 Análise estatística dos dados recolhidos

Os valores apresentados para os tempos de processamento das atividade e tempo de ciclo, nos tópicos anteriores, são valores médios de uma amostra recolhida, antes e depois da implementação das melhorias, que foram tratados estatisticamente no software *IBM SPSS Statistic 25*. Com base nos resultados obtidos no software foi criada uma tabela que se encontra no *Anexo I* que resume as conclusões tiradas dos resultados dos testes estatísticos.

Com base na tabela do *Anexo I* sabemos que o valor médio do tempo de ciclo diminuiu com a implementação de diversas melhorias nas diferentes tarefas levadas a cabo para a obtenção dos componentes soldados. Apesar das melhorias realizadas serem em atividades do processo, no conjunto afetaram os dados recolhidos do tempo de ciclo no cenário melhorado, levando à sua diminuição.

Os resultados dos testes descritivos mostram que a diminuição é significativa (diminuição de 21,3% face ao valor médio do cenário inicial), bem como a dispersão dos dados que diminuiu. Apesar disto, segundo o teste K-S para a normalidade dos dados conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal, pelo que o estudo da igualdade de médias e do quociente das variâncias não deve ser realizado ($\text{sig}=0,000$). Ainda assim, feitos os testes os resultados mostram que não há igualdade entre as médias nem entre as variâncias ($\text{sig_médias}=0,000$ e $\text{sig_variâncias}=0,006$). Estas conclusões partiram de uma amostra de tempos de ciclo do cenário inicial com 41 valores (ciclos) e uma amostra de tempos de ciclo do cenário melhorado com 79 valores recolhidos (ciclos recolhidos).

Como visto anteriormente, o abastecimento de componentes é composto por duas tarefas: o abastecimento de chapas e o abastecimento de tubos. A medição dos tempos foi realizada nas duas tarefas e não no conjunto que representa o abastecimento de componentes. Assim sendo para obter o resultado do tempo de abastecimento de componentes foram somados os dados recolhidos do abastecimento da chapa e dos tubos, para cada um dos cenários. Ainda assim, o valor médio do cenário melhorado foi menor do que o valor médio do cenário inicial e por isso se concluir que o tempo de abastecimento de componentes diminuiu entre cenários.

O tempo médio de abastecimento de chapa aumentou do cenário inicial para o cenário melhorado, mas não é estatisticamente significativa pelo valor do aumento ser muito baixo face a aos valores percentuais das restantes variáveis (4,4%). Isto deve-se ao facto de que no cenário inicial o tempo de abastecimento de chapa é composto pelas ações de seleção da chapa e posicionamento da mesma na célula, enquanto que o tempo de abastecimento de chapa no cenário melhorado é composto pelas ações realizadas no cenário inicial mais a validação da colocação das peças na célula para que os sistemas automáticos detetem que podem realizar as restantes ações pelo facto dos componentes terem sido todos colocados. Estas conclusões partiram de uma amostra de tempos de abastecimento de chapa do cenário inicial com 36 valores (ciclos) e uma amostra de abastecimento de chapa do cenário melhorado com 42 valores recolhidos (ciclos recolhidos).

A nível estatístico, a variável caracterizada pelo tempo de abastecimento de chapa segue uma distribuição aproximadamente normal, com média 3,15 segundos e desvio padrão 0,488, resultado obtido através do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5% ($\text{sig}=0,200$). Para além disso, o teste realizado para o quociente das variâncias, com o teste de Levene, mostrou que as variâncias são significativamente diferentes, por haver uma maior dispersão dos dados recolhidos no cenário melhorado do que no cenário inicial ($\text{sig}=0,833$). Relativamente à igualdade das médias, foi possível concluir, através do teste t com um nível de significância de 5%, que estas não podem ser consideradas diferentes ($\text{sig}=0,229$).

Relativamente ao tempo de abastecimento de tubos, este sofreu um decréscimo de 4% no valor médio medido no cenário melhorado face ao valor médio obtido no cenário inicial. Apesar disto, a dispersão dos dados aumentou no cenário melhorado face ao valor da variância obtido no cenário inicial. Estas conclusões partiram de uma amostra de tempos de abastecimento de tubos do cenário inicial com 27 valores (ciclos) e uma amostra de abastecimento de tubos do cenário melhorado com 42 valores recolhidos (ciclos recolhidos).

Os resultados dos testes estatísticos não revelaram normalidade da distribuição ($\text{sig}=0,000$). Ainda assim foram realizados os testes de igualdade de médias e do quociente de variâncias, que, de uma forma exploratória, indicam que existiu uma diminuição do valor médio da variável, dado que H_0 foi rejeitada com um valor de prova inferior a 5% ($\text{sig}=0,000$), as variâncias serão semelhantes, dado que não foi possível rejeitar a hipótese nula neste caso ($\text{sig}=0,698$).

Das restantes variáveis em estudo, todas elas sofreram uma redução significativa do valor médio do tempo do cenário melhorado face ao valor médio obtido no cenário inicial. A redução foi mais significativa nas variáveis rotação (C), marcação (F) e saída de peças (G), com valores de redução percentual superiores a 10%. Todas as restantes variáveis têm um valor de variância menor no cenário melhorado do que no cenário inicial, sendo que isto significa que existe uma menor dispersão dos dados no cenário melhorado do que no cenário inicial.

Apesar de ter havido uma redução do valor médio em todas as variáveis, acompanhada por uma redução da variância, apenas as variáveis segurar componentes (B) e remover peça para a marcadora (E2) seguem distribuições aproximadamente normais, segundo o teste não paramétrico à normalidade dos dados, com um nível de confiança de 95% ($\text{sig}_B=0,200$ e $\text{sig}_{E2}=0,200$). O facto de as variáveis seguirem uma distribuição aproximadamente normal levou à realização dos testes de igualdade de médias e do quociente de variâncias, cujos resultados permitiram concluir que na variável segurar componentes (B) não se verifica a nem a igualdade das médias nem das variâncias ($\text{sig}_{\text{médias}}=0,005$ e $\text{sig}_{\text{variância}}=0,000$). Na variável remover peças para a marcadora (E2), o teste à igualdade das médias não permitiu rejeitar a hipótese de que as médias eram iguais, tendo sido possível concluir que as variâncias eram diferentes ($\text{sig}_{\text{média}}=0,889$ e $\text{sig}=0,000$). Estas conclusões partiram de uma amostra de tempos de segurar componentes do cenário inicial com 24 valores (ciclos) e uma amostra de segurar componentes do cenário melhorado com 29 valores recolhidos (ciclos recolhidos). Para a variável E2 – remover peças da marcação – foram recolhidos 50 dados no cenário inicial (ciclos no cenário inicial) e 16 dados no cenário melhorado (ciclos no cenário melhorado).

Foram realizados os testes de *Levene* e de *t-student* às variáveis cujos resultados permitiram rejeitar a hipótese da normalidade da distribuição. Destas variáveis, apenas no caso da variável soldadura (D) é que não foi possível rejeitar as hipóteses nulas de igualdade de médias e

de igualdade de variâncias ($\text{sig_media}=0,220$ e $\text{sig_variância}=0,229$). Para as restantes variáveis os resultados dos testes não permitiram concluir que existe homogeneidade entre a média e a variância, tendo sido rejeitada a hipótese da igualdade entre as médias e a variância. Isto leva a concluir que houve uma diminuição dos tempos médios das variáveis do estudo.

1.3.10 Conclusões

A análise das atividades e tarefas necessárias para a produção dos componentes foi a ação mais importante desta secção que levou à melhoria de algumas atividades cujos tempos de processamento eram elevados, afetando o tempo de ciclo. Para isso, a conjugação do diagrama de processos com o diagrama de *Gantt* permitiu conhecer e classificar as tarefas (operações, transporte, espera, etc.) e para além disso permitiu conciliar diferentes tarefas para que estas, apesar de opostas, pudessem ser realizadas simultaneamente (no diagrama de *Gantt* é possível representar a tarefa de abastecimento e de soldadura, apesar de serem realizadas em mesas diferentes). Isto não seria possível sem a aplicação da metodologia SMED, que permite obter melhorias através da identificação das tarefas que não são necessárias.

O conhecimento das atividades levou à diminuição dos tempos. As atividades onde foi realizado o estudo são: abastecimento, soldadura e marcação. A diminuição dos tempos fica a dever-se ao fato de terem sido definidos cenários a partir do cenário inicial do posto de trabalho. Apesar de haver cenários com grandes diminuições, o fator investimento levou a que algumas das propostas não tenham sido aplicadas.

O cenário melhorado é apresentado na Figura 3.19.

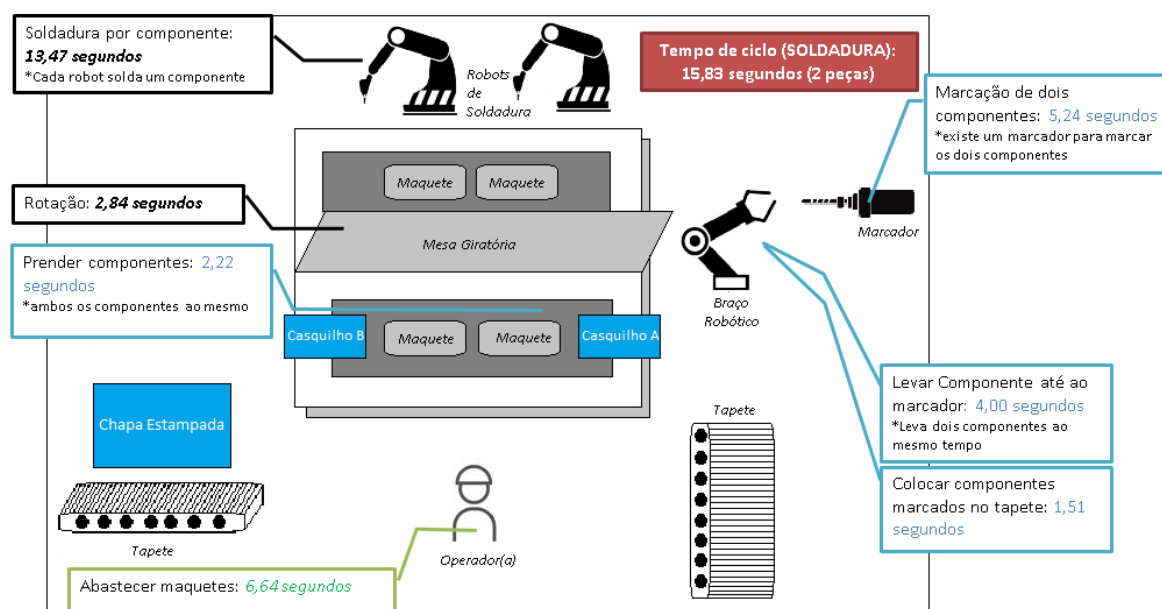


Figura 3.19 - Representação do cenário melhorado da célula de soldadura

Após as alterações, o tempo de ciclo do posto passou para os 15,83 segundos, valor médio medido através dos dados apresentados no Anexo I. Está acima do objetivo estabelecido pela empresa (15 segundos), mas está abaixo do *takt time*, pelo que a célula responderá às necessidades de consumo.

Com as propostas implementadas, houve atividades que mudaram a sequência de realização, estando representada no fluxograma da Figura 3.20 a sequência de tarefas do cenário melhorado.

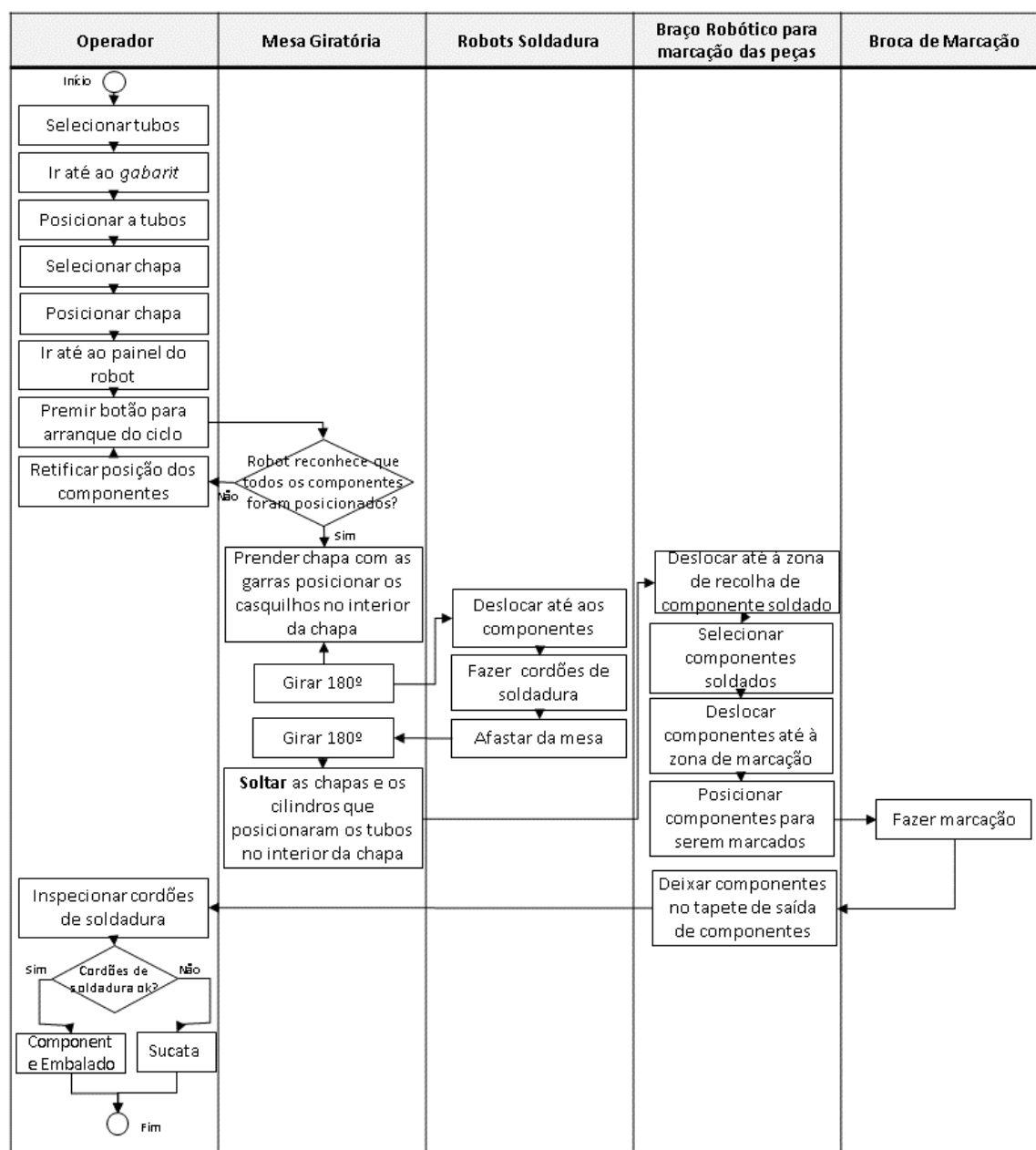


Figura 3.20 - Fluxograma após a implementação das propostas de melhoria de tempos

A alteração e diminuição do tempo das de tarefas também conduziu a alterações no diagrama de *Gantt* que representa a sequência das tarefas e o paralelismo entre as ações que são desempenhadas no posto de trabalho. O diagrama de *Gantt* do cenário implementado é apresentado na Figura 3.21.

A redução do tempo de abastecimento é perceptível, aumentando o tempo de espera na mesa onde decorre o abastecimento. Isto acontece devido à soldadura que ocorre na mesa

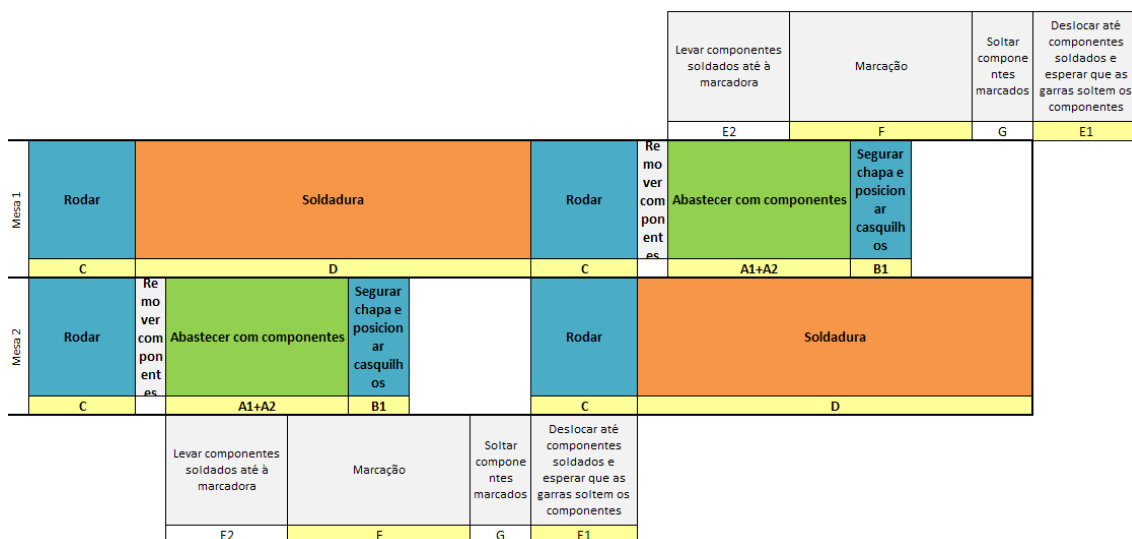


Figura 3.21 - Diagrama de Gantt após a implementação das propostas apresentadas

contrária, fazendo com que todos os recursos tenham de esperar até que termine a soldadura. Apesar de se ter aumentado o tempo de espera na mesa que é abastecida, isto permite dar ao operador mais tempo para que seja possível a realização de outras tarefas, como por exemplo a inspeção dos componentes soldados ou a embalagem dos mesmos. Apenas será necessário fornecer mecanismos ao operador para que tais ações sejam possíveis de serem realizadas junto à zona de abastecimento para que o operador não utilize o tempo disponível em deslocações.

Por fim, é possível visualizar o VSM do cenário melhorado, apresentado na Figura 3.22.

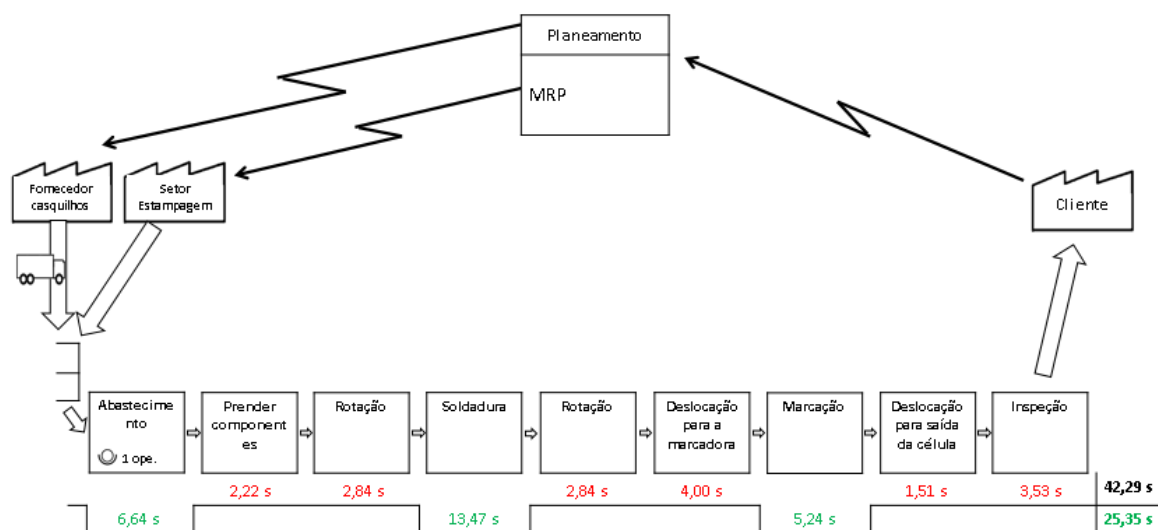


Figura 3.22 - VSM do cenário melhorado

Comparativamente ao cenário inicial, o VSM melhorou no tempo de valor acrescentado e no tempo total de processamento. Relativamente ao tempo de valor acrescentado, o valor sofreu uma diminuição de 7,18 segundos (diminuição de 28%), e o tempo total de processamento diminuiu 8,9 segundos (diminuição de 21%).

Sendo assim, as alterações permitiram cumprir o objetivo de redução do tempo de ciclo para responder ao aumento da procura do componente que é soldado no posto. A combinação das ferramentas VSM, SMED, Gantt e diagramas de processos permitiu identificar e definir os problemas do posto e a desenvolver formas de os resolver, culminando na diminuição de tempos.

3.4 SMED e sequência de mudanças de referência

3.4.1 Apresentação da situação em estudo

Para além da melhoria de tempos descrita na seção anterior, foi possível realizar outras melhorias em zonas diferentes da fábrica, onde o recurso a diagramas de *Gantt* e análise de tempos permitiram desenvolver o trabalho. A melhoria apresentada neste tópico prende-se com o facto de existir um único recurso pelo qual passam diferentes artigos que abastecem diferentes postos do setor. Sendo o único equipamento da empresa que faz a operação, este é o recurso gargalo de muitos processos da empresa, sobre o qual se deve ter muita atenção para que não congestionue outros equipamentos.

O serrote é um equipamento utilizado para cortar todas as referências de tubos que são processados na empresa. Os tubos chegam à empresa em atados (conjunto de vários tubos) em que em cada tubo desse atado tem, em média, 6 metros de comprimento, cujo diâmetro varia mediante as referências. Os tubos necessários na empresa variam entre os 125,7 mm e os 125,7 mm sendo que é necessário cortar os tubos de 6 metros para que possam ser processados na empresa. O serrote, para além de cortar, tem acoplado um sistema de remoção de arestas vivas (na empresa tem o nome de escarear) e uma máquina de lavar para remover a rebarba e as limalhas que ficam no tubo devido ao corte.

O equipamento é representado na Figura 3.23.



Figura 3.23 - Esquema do equipamento em estudo

Fonte: Página web da BLM Group⁴

É um equipamento que trabalha maioritariamente a dois turnos de forma a cumprir com as 80 horas de trabalho semanais planeadas. O facto de atualmente ser o único equipamento capaz de transformar os diversos tubos implica que se torne o recurso gargalo de processos, que consequentemente implica paragens nos postos de trabalho por falta de material cortado.

Existem paragens que não são possíveis de eliminar e no caso do equipamento em estudo para a mudança de referência é necessário ter o equipamento parado para que as tarefas sejam realizadas com segurança (por exemplo mudança de disco de corte). Para além disso, se não existir um plano definido apresentado ao operador, este não sabe que referência irá cortar de seguida. Isto leva a que a paragem seja maior, devido ao facto de o operador precisar de procurar as pessoas

⁴ Disponível em: <<http://www.blmgroupp.com/pt/cortadoras>> acesso em abr.2018.

responsáveis para que lhe digam qual é a referência que deve ser cortada, de forma a que os restantes equipamentos da fábrica estejam abastecidos.

Assim sendo, é necessário analisar o tempo das tarefas realizadas para mudança de referência com o objetivo de diminuir o tempo de paragem do equipamento e é necessário analisar o tempo entre mudanças de referências de modo a criar uma sequência de produção que permita dar autonomia ao operador para que realize as mudanças de referência, sem a intervenção de outras pessoas para a tomada de decisão.

3.4.2 Análise dos problemas

Para que a mudança de referência no equipamento se realize, existem um conjunto de atividades que são levadas a cabo que permitem que a mudança seja feita e possa ser cortado outro artigo. Essas atividades estão identificadas na Tabela 3.3 e estão divididas em 3 categorias:

- Mudar disco de corte: as tarefas que fazem parte desta atividade são feitas quando o disco em questão já se encontra desgastado e prevê-se que será necessário substituir durante o corte, ou quando o material a cortar difere;
- Mudar atado de tubo: são poucas as referências que utilizam o mesmo tubo, com o mesmo material e o mesmo diâmetro. Assim, quando é necessário cortar outra referência é preciso substituir a matéria prima, substituição essa que é composta por um conjunto de tarefas;
- Afinação de parâmetros: tendo a matéria prima e o disco para o corte do tubo é necessário substituir os parâmetros de corte para o equipamento cortar com o comprimento correto. Para além disso, a zona onde são removidas as arestas vivas e a zona de lavagem também tem de ter os seus parâmetros adequados ao tubo a cortar. Quando todos os parâmetros são alterados, são cortadas algumas amostras de tubo para conferir o tamanho cortado.

Os tempos das tarefas levadas a cabo para mudança de referência no equipamento foram medidas por cronometragem. Os valores médios das tarefas são apresentados na Tabela 3.3. Os valores retirados são independentes do artigo no qual foi iniciada a mudança e para o qual é realizada a mudança.

Os tempos médios apresentados na Tabela 3.3 foram obtidos através de cronometragem das tarefas, não tendo em conta que tipo de referência é que se estava a mudar. A amostra que levou aos valores médios apresentados tem uma dimensão pequena (variáveis com apenas 5 medições), o facto de serem tarefas feitas sequencialmente leva a que seja necessário acompanhar o processo desde do seu início, acontecimento que não ocorre na maioria das vezes por falta de disponibilidade da pessoa que mediu os tempos.

Tabela 3.3 - Descrição das atividades realizadas para a mudança de referência a cortar

ATIVIDADES	TAREFAS	TEMPO MÉDIO (N=5)
Mudar disco de corte	A1 – Substituição do disco de corte	5 min
	A2 – Selecionar novo disco de corte;	1 min
	A3 – Posicionar novo disco de corte;	10 min
Mudar atado de tubo (mudar matéria prima do serrote)	B1 – Procurar cintas e coloca-las nos tubos que ficaram no alimentador da máquina;	2 min
	B2 – Com o auxílio da ponte, prender o atado do alimentador e deslocar para o armazém de matéria prima;	4 min
	B3 – Prender o novo atado à ponte;	2 min
	B4 – Deslocar novo atado para o alimentador do serrote e desprender da ponte;	5 min
	B5 – Cortar as cintas que prendem o atado;	2 min
Afinação dos parâmetros	C1 – Substituição e alteração de parâmetros	10 min
	C2 – Ensaiair tubos para verificar se o tamanho de corte é o adequado (cortar 3 unidades, parar equipamento e medir as unidades cortadas)	5 min

Tendo em conta as tarefas apresentadas na Tabela 3.3, o tempo total de mudança de ferramenta é de 46 minutos, valor obtido a partir da soma dos tempos das tarefas, dividindo pelo número de valores que foi possível obter.

Através da análise da Tabela 3.3 percebe-se que existem muitas tarefas levadas a cabo para a mudança de referência. O operador realiza todas as tarefas quando o equipamento está parado, sem se perceber se existe a possibilidade de começar a executar algumas das tarefas enquanto o equipamento está em funcionamento. Assim sendo, não se conhecem as tarefas e consequentemente o tempo que se pode poupar ao executar algumas das tarefas durante o funcionamento do equipamento. A metodologia a usar para identificar as tarefas é o SMED onde passando tarefas internas para externas, é possível diminuir o tempo de paragem do equipamento e consequentemente diminuir o tempo de mudança de referência.

Ainda assim, os tempos apresentados anteriormente não refletem os tempos por artigos que foram mudados. Para conhecer o tempo entre mudança de referência, foi disponibilizado um documento para os operadores fazerem o registo dos tempos. Esse documento chama-se “Folha de seguimento de produção” e encontra-se no *Anexo II*.

Com base nas informações recolhidas foi possível construir a Tabela 3.4, em que os valores apresentados são a média dos valores recolhidos e estão em minutos. As referências apresentadas correspondem aos artigos cujo volume de produção é elevado, e com entregas frequentes (pelo menos semanais).

Tabela 3.4 - Tempos médios de mudança de referência (em minutos)

Mudança de/para	Artigo A	Artigo B	Artigo C	Artigo D	Artigo E	Artigo F
Artigo A	X	38	18		39	
Artigo B		X	43	24		46
Artigo C	23		X		41	
Artigo D		42		X	34	
Artigo E		31	34	50	X	
Artigo F	27	45	37	59	46	X

Os tempos apresentados dizem respeito à situação em que apenas um operador faz a mudança de referência. Por vezes, a sequência de atividades apresentada na Tabela 3.3 foi alterada porque a ponte, equipamento utilizado para movimentar os atados de tubo, também é utilizado para movimentar bobines de chapa que alimentam as prensas. Enquanto a ponte está ocupada, os parâmetros da máquina podem ser alterados, de forma a rentabilizar o tempo da mudança de referência. A ponte é o meio de transportar materiais pesados ao longo do pavilhão no qual serão armazenados e processados. As células que não tem valores indicam que no período no qual foram recolhidos os dados, não foi realizada uma mudança entre as referências que correspondem à célula, ou o tamanho da amostra para a célula em questão é pequena (foram considerados apenas as mudanças com $n > 4$).

Foram recolhidos valores de mudança de referência mais elevados do que o valor médio de 32 minutos obtido através da Tabela 3.3 para a mudança de referência devido ao grau de dificuldade na execução de algumas mudanças entre referências, que não foram detetadas quando foi realizada a cronometragem de tempos por tarefa.

Analisando os valores da Tabela 3.4 é possível identificar que o valor mais baixo registado para mudança de referência foi de 18 minutos para a mudança do artigo A para o C. Isto deve-se ao facto de o diâmetro dos tubos ser idêntico, pelo que a afinação no equipamento não é realizada. O valor mais elevado registado foi a mudança do artigo F para o D, de 59 minutos registados, isto porque as dimensões a cortar são muito diferentes. Para além disso a referência F necessita do funcionamento da máquina de lavar, enquanto que a referência D não, sendo também um dos motivos pelo qual o tempo de mudança é superior. O artigo B é dos tubos mais pequenos considerados neste estudo enquanto que o artigo C é um tubo com maior comprimento e menor diâmetro, pelo que implica a afinação do equipamento. Assim sendo, a zona de remoção de arestas vivas tem de ser ajustada ao tamanho do tubo e a máquina de lavar tem de ser ligada e aquecida para que possa entrar em funcionamento.

As mudanças de referência para o artigo E e F são das que mais variação têm. O artigo F, ao contrário dos restantes, é um varão, pelo que as laminas tem de ser alteradas para que seja possível cortar ao longo do diâmetro do tubo. Para além disso, o comprimento a cortar não é semelhante a qualquer um dos outros tubos em análise. O artigo E é o que tem maior comprimento e diâmetro, dos tubos em análise, levando a grandes alterações no equipamento sempre que seja necessário mudar para ele.

Também é de salientar que os tubos A, B e D, que são os mais curtos apresentam, entre si, mudanças de entre 30 a 40 minutos. Nestes casos, mantendo o tamanho do corte, as alterações do diâmetro do tubo e o número de máquinas pelo qual passa o tubo (A e D passam pela máquina de escarear, B não), faz com que os tempos sejam muito parecidos entre si. Assim sendo, torna-se vantajoso mudar para referências cujo tamanho de corte seja próximo do da referência anteriormente cortada.

As referências cortadas no serrote, variam com as dimensões do tubo e com o tipo de matéria prima, o que obriga a alterações no equipamento. Todas as alterações feitas no equipamento levam tempo a serem executadas pelo que com o objetivo de diminuir o tempo em que o equipamento está parado para mudança de referência é necessário:

- identificar tarefas que possam ser realizadas enquanto o equipamento está em funcionamento;
- diminuir os tempos entre mudanças de artigos para encontrar o melhor padrão de mudança e, assim, facilitar o planeamento.

Por forma a diminuir o referido tempo, poderá optar-se pela utilização da metodologia SMED em conjunto com a utilização de uma sequência de artigos que permitam atingir os objetivos. Este objetivo está em linha com a técnica 12 de aumento da capacidade de produção do recurso gargalo. Como foi explicado na secção 3.1, quando o problema é a duração da troca no recurso gargalo a técnica SMED é utilizada como forma de reduzir o tempo utilizado em mudanças nos equipamentos. No entanto, pode também ser definida uma sequência de troca de referências de forma a que os tempos de troca sejam minimizados.

3.4.3 Aplicação da técnica SMED

Para a aplicação da técnica SMED, foi utilizada a Tabela 3.3 de forma a descrever quais as atividades internas e externas e das atividades internas, as que poderiam ser transformadas em externas, de modo a minimizar o tempo de paragem do equipamento. A Tabela 3.5 sintetiza as informações.

Tabela 3.5 - Classificação das atividades de mudança de referência

ID	CLASSIFICAÇÃO	TRANSFORMAÇÃO DE INTERNA PARA EXTERNA
A1	Interna	Por questões de segurança não é possível transformar a atividade interna em externa. É necessário que o equipamento esteja parado, e consequentemente, os discos estejam parados para que se possa substituir;
A2	Interna	Pode passar para externa. Sabendo a referência do tubo a cortar, o operador pode previamente selecionar as ferramentas necessárias para a troca de referência;
A3	Interna	Não pode passar para externa. A substituição do disco requer que o equipamento esteja parado por questões de segurança, tal como a atividade A1;
B1	Interna	Pode ser passada para externa. Quando se aproximar da quantidade cortada pretendida, os tubos podem ser cintados, ficando no alimentador os tubos necessários para a quantidade necessária a cortar;

Continuação da Tabela 3.5 - Classificação das atividades de mudança de referência

ID	CLASSIFICAÇÃO	TRANSFORMAÇÃO DE INTERNA PARA EXTERNA
B2	Interna	Pode ser passada para externa. Enquanto o equipamento termina o corte dos tubos que se encontram no alimentador, é possível utilizar a ponte para movimentar o atado para o armazém;
B3	Interna	Pode ser passada para externa. A seleção do atado não interfere com o funcionamento do equipamento;
B4	Interna	Não pode passar para externa. Não se pode colocar no alimentador um atado novo enquanto estão a ser cortados outros tubos, porque o alimentador pode puxar os tubos do novo atado e originar um acidente danificando o equipamento;
B5	Interna	Tal como a atividade B4, esta não pode passar para externa;
C1	Interna	Não pode passar para externa. É necessário que o equipamento esteja parado para que se realizem mudanças de parâmetros;
C2	Interna	Não pode passar para externa, é necessário confirmar a conformidade da peça num paquímetro e fazer inspeção ao corte para verificar se existem limalhas ou detritos que façam com que seja necessário modificar parâmetros do equipamento.

Verifica-se que, das 11 atividades necessárias para mudança de referência, 4 podem ser passadas para externas, minimizando o tempo de paragem do equipamento. Com a transformação das atividades A2, B1, B2 e B3 em atividades externas, construiu-se o diagrama de *Gantt* da Figura 3.24, como forma de esquematizar o funcionamento das tarefas realizadas pelo operador em paralelo com o equipamento.

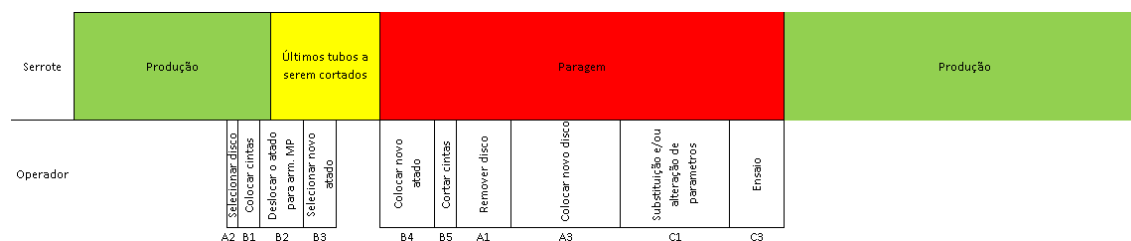


Figura 3.24 - Diagrama de Gantt para mudança de referência, com a aplicação da técnica SMED

O facto de existirem atividades a serem realizadas antes da paragem do equipamento permite ganhar tempo e preparar os materiais para que a troca de referência seja realizada no menor tempo possível. De acordo com o diagrama de *Gantt*, apenas as atividades A1, A3, B4, B5, C1 e C2 contribuem para o tempo de paragem de serrrote. Assim, o serrrote passa a estar parado 37 minutos, em média, por troca de referência, ganhando-se 9 minutos com a transformação das atividades internas em externas.

A média do tempo medido da troca de referência pode vir a aumentar no caso em que o operador que irá efetuar a mudança também esteja a operar outras máquinas. Isto leva a que apenas atue quando dá conta que o serrrote parou porque cortou a quantidade necessária. Para além disso, o número de operadores que realiza a mudança de referência é apenas um. No caso de estarem duas pessoas a realizar a mudança (uma pessoa responsável pela colocação do atado e outra pessoa responsável pela substituição do disco e seleção dos programas) o tempo durante o qual o equipamento se encontra parado pela mudança de referência diminui radicalmente, visto ser possível realizar mais atividades em simultâneo com mais do que um operador.

Para além disso a utilização de equipamentos dedicados e formas rápidas de prender e soltar os atados ajudará os operadores a realizarem as suas tarefas e a melhorar os tempos. O passo principal é sensibilizar os operadores para a importância de manter o procedimento da realização das atividades em paralelo.

3.4.4 Sequência de produção

Apesar da aplicação da técnica SMED trazer ganhos para a diminuição do tempo de paragem por mudança de referência, é possível economizar as mudanças relacionando o tempo médio entre elas, cujos valores são apresentados na Tabela 3.4.

Para o caso de ser necessário tomar uma decisão rápida acerca do artigo que é mais vantajoso cortar, a Tabela 3.4 tem informações úteis para a tomada de decisão. No entanto, a consulta sistemática da Tabela 3.4 também pode ser um problema para o operador, pelo que se se definir uma sequência de artigos a cortar que permita a diminuição dos tempos de mudança, torna-se mais fácil para o operador saber qual o trabalho que tem de realizar de seguida.

Os dados recolhidos dos tempos de mudança de referência não foram suficientes para aplicar um algoritmo que permita percorrer toda a tabela de forma a encontrar uma sequência cujas mudanças entre si correspondam aos menores tempos. Para além disso, existem mudanças de artigos para os quais não foi possível obter dados, limitando a possibilidade de utilizar uma heurística para encontrar uma solução melhorada.

Tendo em consideração que o presente trabalho não se foca na otimização de modelos, mas sim em encontrar e procurar mudanças de referências rápidas, foram estabelecidos os seguintes passos para definir a sequência de artigos a cortar:

Passo 0: todas as células que não estejam preenchidas devem estar preenchidas com a letra M, cujo significado é ser um valor muito grande para que a célula em questão não seja selecionada nos passos seguintes;

Tabela 3.6 - Tabela exemplo para heurística - passo 0

	A	B	C	D
A		1	3	
B				2
C	4	3		2
D			2	

	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

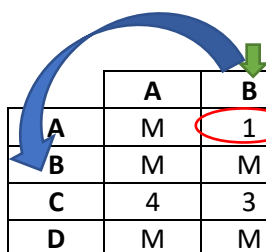
Passo 1: procurar a célula com o menor tempo de mudança registado. Essa será a primeira mudança de sequência, mudando da referência em linha (l1) para a referência em coluna (c2);

Tabela 3.7 - Tabela exemplo para heurística - passo 1

	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

Passo 2: a partir da sequência anterior, identificar a linha que corresponde à referência na coluna seleccionada no passo anterior (de c2 procurar l2). Procurar na linha identificada o menor tempo de mudança registado. Essa será a 2 mudança de referência, mudando da referência em linha (l2) para a referência em coluna (c3);

Tabela 3.8 - Tabela exemplo para heurística - passo 2

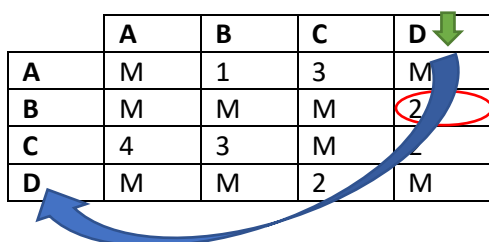


	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

Passo 3: identificar a linha do artigo que foi anteriormente adicionado à sequência (de c3 procurar l3). Procurar na linha identificada o menor tempo de mudança registado. Essa será a 3 mudança de referência, mudando da referência em linha (l3) para a referência em coluna (c4);

Tabela 3.9 - Tabela exemplo para heurística - passo 3



	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

	A	B	C	D
A	M	1	3	M
B	M	M	M	2
C	4	3	M	2
D	M	M	2	M

Passo 4: repetir o passo 3 até sobrar uma referência por colocar na sequência. Depois passar para o último passo;

Último Passo: comparar os valores de tempo de mudança entre o artigo que falta colocar na sequência e os artigos que estão nas pontas da sequência (o primeiro e último artigo da sequência). O valor mais baixo indica que é a referida mudança que deve ser utilizada para minimizar o tempo de mudança.

Com base na Tabela 3.4 é possível criar uma sequência de artigos, cujos tempos de mudança entre si seja o mais curto possível, utilizando os passos anteriormente descritos.

Passo 0: preencher as células vazias com o valor M;

Tabela 3.10 - Tempos médios de mudança de referência, com as alterações do passo 0

Mudança de/para	Artigo A	Artigo B	Artigo C	Artigo D	Artigo E	Artigo F
Artigo A	M	38	18	M	39	M
Artigo B	M	M	43	24	M	46
Artigo C	23	M	M	M	41	M
Artigo D	M	42	M	M	34	M
Artigo E	M	31	34	50	M	M
Artigo F	27	45	37	59	46	M

Passo 1: começou-se por procurar o menor tempo de mudança na tabela: valor 18 que corresponde à mudança da referência **A para a referência C** (18 minutos).

Passo 2: assim sendo, agora procura-se, na linha do artigo C, o menor tempo de mudança. Nessa linha existem 2 artigos possíveis de serem selecionados para a sequência: A e E. Não se escolhe o A porque assim não é possível passar por todas as referências. Opta-se então pela mudança para o artigo E (41 minutos).

A sequência agora definida é **A -> C -> E**, cujo tempo total de mudança é $18+41=59$ minutos.

Passo 3: na linha da referência E existem 3 artigos possíveis de escolha. Os valores apresentados, a mudança para a referência B é a que tem menor tempo, pelo que deve ser escolhida de seguida.

A sequência agora definida é **A -> C -> E -> B**, cujo tempo total de mudança é $18+41+31=90$ minutos.

Passo 4: na linha da referência B, existem 3 artigos possíveis de serem escolhidos, pelo que se faz como na linha anterior e escolhe-se a mudança com menor valor, que neste caso é a mudança para a referência D.

A sequência agora definida é **A -> C -> E -> B -> D**, cujo tempo total de mudança é de $18+41+31+24=114$ minutos. Fica a faltar a referência F na sequência já definida.

Último Passo: não foi possível obter muitos dados para mudanças entre a referência em análise por ser o artigo que implica mais alterações no equipamento. Da Tabela 3.4, o menor tempo de mudança, na linha da referência F, é a mudança para a referência A, de 27 minutos.

Sendo assim, a sequência fica: **F -> A -> C -> E -> B -> D**, cujo tempo total de mudanças é de $27+18+41+31+24=141$ minutos.

Sempre que o planeamento permitir, deve ser utilizada a sequência encontrada pois é a combinação que permite ter o menor tempo entre mudanças de referências, tornando menores os tempos de paragem do equipamento.

Sendo necessário produzir todas as referências que fizeram parte deste estudo, conclui-se que irão ser despendidos 141 minutos para realizar todas as mudanças de referências.

Eventualmente, seria possível aplicar um algoritmo que permitisse obter um valor menor para o tempo de mudança de referência, mas infelizmente não foram recolhidos dados suficientes para a utilização de tais algoritmos.

3.4.5 Conclusões

O facto dos operadores conhecerem o trabalho que irão fazer ao longo do turno permite poupar tempo que outrora era desperdiçado por desconhecimento. Com a utilização da sequência de produção, o operador fica a conhecer o trabalho que irá realizar ao longo do turno, permitindo obter tempos de mudança de referência menores.

Conforme já referido, o conhecimento do trabalho que se irá realizar aliado à realização de tarefas antes da paragem do equipamento permite obter uma diminuição de 9 minutos de paragem do equipamento por mudança de referência. Para além disso, a sequência definida é uma das que permite obter mudanças de referência mais rápidas, sempre com o objetivo de diminuir tempos improdutivos.

O método usado para obter a sequência de mudança de referência cujos tempos de mudança de referência são menores é uma ilustração daquilo que poderia ser feito com um conjunto maior de dados por mudança de artigo. Ainda assim, com os dados utilizados é possível tirar conclusões interessantes como o facto de artigos com dimensões parecidas terem tempos de mudança mais curtos. Para além disso é possível perceber que quando as alterações a fazer no equipamento são muitas isso afeta o tempo total da mudança de referência.

No caso de serem alocados mais operadores para realizar a mudança (uma pessoa responsável pela colocação do atado e outra pessoa responsável pela substituição do disco e seleção dos programas) o tempo no qual o equipamento se encontra parado pela mudança de referência diminui radicalmente, visto ser possível realizar mais atividades simultaneamente com mais do que um operador. Para além disso, os tempos entre mudanças de referências também sofreriam uma diminuição do valor médio.

3.5 Balanceamento de linhas de produção

3.5.1 Apresentação da situação a estudar

Por fim, de forma a dar resposta a variações da procura, esta secção permitirá perceber qual o número de operadores mínimo para o funcionamento dos equipamentos, que posteriormente permitirá ao gestor de planeamento saber se é necessário ativar ou desativar turnos produtivos para fazer face as variações da procura.

O setor onde se realizará o estudo é constituído predominantemente por máquinas automáticas, sendo que a função dos operadores passa por abastecer os tambores dos equipamentos para que não falem peças às máquinas e retirar as peças processadas para estas serem enviadas para o próximo posto de trabalho. Na Figura 3.25 é representado um possível layout da zona em estudo.

No cenário com 6 equipamento a trabalhar e 6 operadores disponíveis para realizar as tarefas, os operadores poderão ter de ser distribuídos por diferentes turnos para dar resposta aos pedidos dos clientes. Mas é necessário que todos os turnos de trabalho tenham o número mínimo de operadores para que os equipamentos sejam abastecidos e não impliquem que os operadores “corram” pela seção para dar vazão às máquinas.

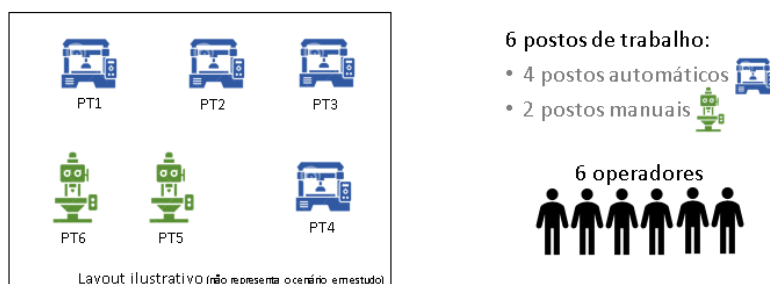


Figura 3.25 - Representação do layout dos equipamentos em análise

Para além disso, na ótica da gestão de operações, poderá não fazer sentido ter um operador por máquina automática, isto porque o operador abasteceria o equipamento ficando o resto do turno à espera que faltassem peças à máquina para voltar a repetir o abastecimento, sendo um desperdício de recurso humano. Contrabalançando, existem outros postos em que é necessário o trabalho do operador a 100% para que sejam produzidas peças, mas esses tipos de postos provocam maior desgaste nos operadores por serem trabalhos muito monótonos e repetitivos.

De modo a rentabilizar a produção, faz mais sentido existir um conjunto de máquinas automáticas para um operador, em que este abastece e remove componentes enquanto que os outros equipamentos continuam a fazer o processamento das peças. Enquanto não faltarem peças nos equipamentos automáticos, o mesmo operador pode ir para os postos de trabalho dedicados à realização de outras tarefas.

A questão referida implica que haja um balanceamento da produção tendo em conta o tempo de ciclo dos equipamentos. Assim sendo, esta secção dedicar-se-á ao balanceamento da produção, de modo a reduzir o número de operadores que operam os 6 equipamentos, com vista a alocá-los a outros turnos caso seja necessário responder a variações da procura por parte dos clientes. Para o estudo considera-se que a capacidade produtiva dos equipamentos assegura o

cumprimento das encomendas, pelo que a ativação ou desativação de turnos irão ser medidas a tomar no caso de ser necessário fazer face a picos de produção.

3.5.2 Análise do problema

Para balancear os postos e perceber qual o número necessário de operadores para a realização das tarefas de abastecimento e remoção de componentes, é necessário conhecer os tempos de ciclo de cada equipamento. Os postos em análise processam componentes em fases de trabalho diferentes (FT) e os tempos de ciclo encontram-se na tabela abaixo. Os tempos de ciclo foram recolhidos em diversos dias de trabalho, sempre com o mesmo operador. A partir do software *SPSS* foi possível obter estatísticas descritivas, entre as quais o tempo médio de ciclo, que se encontra na Tabela 3.11, por peça e máquina.

Tabela 3.11 - Tempo de ciclo das peças, por máquina

	Peça A	Peça B	Peça C	Peça D
PT 1				FT 1 51'
PT 2			FT 1 9'	
PT 3		FT 1 18'		
PT 4	FT 1 11'			
PT 5		FT 2 13'		
PT 6	FT 2 4'			

Os valores apresentados na Tabela 3.11 foram medidos através de cronometragem. Cada célula preenchida simboliza que a peça em coluna foi processada na máquina em linha. Sendo assim, a Peça A passa pelas máquinas PT4 e PT6. Primeiro é transformada na máquina PT4 (FT 1) cujo tempo de ciclo é de 11 segundos e depois passa para a máquina PT6 (FT 2) cujo tempo de ciclo é de 4 segundos.

Tendo em conta que existem diferentes valores de tempo de ciclo para a mesma peça, existem máquinas que processam mais rapidamente as peças do que outras. Por exemplo, para a peça A, a máquina PT6 é mais rápida do que a máquina PT4 pelo que ficará sempre à espera que esta acabe o processo. Mas, como a máquina PT6 faz parte de um posto dedicado e a máquina PT4 é uma máquina automática, caso os operadores não estejam bem distribuídos pelas máquinas, poderá acontecer que as paragens da máquina PT6 levam a que haja muito *stock* entre esta e a máquina PT4. Para além disso, existem mais máquinas automáticas do que postos onde é necessário a intervenção das pessoas.

Para este problema, o balanceamento dos postos de trabalho é importante, no sentido de não ter máquinas paradas por falta de pessoas, mas também não ter *stock* entre fases de trabalho. Sendo assim, o objetivo do balanceamento passa pela distribuição das tarefas pelos operadores, considerando que a capacidade produtiva assegura o cumprimento das encomendas.

3.5.3 Propostas de balanceamento e implementação

O balanceamento feito não tem em conta o *takt time* dos artigos que passam pelos postos de trabalho. Este balanceamento é apenas para encontrar um número mínimo de trabalhadores necessários no setor, por turno, de forma a que todas as máquinas sejam possíveis de operar com o número de trabalhadores existente no turno. Caso haja um decréscimo da procura, o responsável do setor apenas terá de decidir quantos turnos necessita ter para, ainda assim, fazer face à procura que diminuiu. Caso haja aumento da procura, o responsável do setor pode recorrer ao 3º turno (turno noturno), como forma de colmatar aumentos esporádicos.

Assim sendo, será analisado caso a caso o número de operadores no setor e o número de peças produzidas. Inicialmente haverá um operador por equipamento, número que diminuirá até que se encontre um valor que permite chegar às mesmas unidades produzidas, mas com maior produtividade, visto haver menos pessoas no setor.

No entanto, e visto que grande parte são máquinas automáticas, definiu-se um número de unidades por caixa como forma de perceber o tempo entre abastecimentos. Os valores são apresentados na Tabela 3.12, tendo sido considerados os tamanhos das caixas definidas pela empresa.

Tabela 3.12 - Tamanho de caixa para a realização do estudo, e tempo por caixa

	Máquinas Automáticas				Postos dedicados	
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6
TC (seg.)	51'	9'	18'	11'	13'	4'
Tamanho caixa	15 peças	100 peças	50 peças	200 peças	50 peças	200 peças
TC/caixa (min)	13	15	15	36	11	13

Define-se que o tempo de substituir uma caixa cheia por uma vazia (ou vice-versa) tem a duração de 1 minuto. Durante esse período todas as máquinas estão paradas. O tempo de abastecimento de peças para as máquinas automáticas é de 2 minutos, abastecendo os tambores/alimentadores com 50 peças.

- Análise dos tempos em trabalho e de espera de cada posto de trabalho - situação inicial: **6 operadores**

Com 6 operadores no setor, em que cada operador está numa máquina, temos o diagrama de *Gantt* apresentado na Figura 3.26, que permite representar o que acontece durante um intervalo de tempo de 1,5 horas:

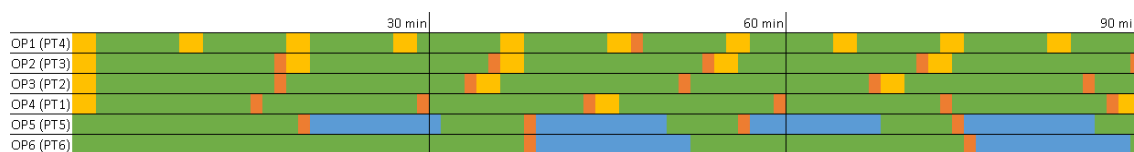


Figura 3.26 - Análise dos tempos por operador: situação inicial

Para a interpretação dos diagramas, o esquema de cores é sempre o mesmo, cujo significado é o seguinte: amarelo – abastecimento da máquina, laranja – troca de caixa cheia por outra vazia, azul – trabalho que o operador tem que fazer devido à máquina não trabalhar automaticamente, verde- espera pela máquina e branco – o operador está a realizar uma tarefa noutra máquina. As operações de troca de caixa (laranja) são muito rápidas por isso caso seja necessário irão ser representadas em simultâneo para o operador que tenha vários postos.

Os operadores que estão nas máquinas PT4, PT3, PT2 e PT1 estão a maior parte de tempo à espera que a máquina do posto acabe de completar uma caixa com peças, ou à espera que o tambor fique sem peças para depois abastecerem. Isto leva a que a presença dos operadores apenas seja necessária de tempo em tempo. Já os operadores das máquinas PT5 e PT6 estão a trabalhar a 100% ao longo do turno, sendo que quando se afastam das máquinas, diminui a quantidade de peças feitas no turno.

Deste cenário pode-se ainda concluir que existe um operador que passados 30 minutos continua à espera de peças que estão a ser feitas noutra posto de trabalho (operador 6 da máquina PT6). Da mesma forma, o operador 5 também espera pelas peças, durante aproximadamente 20 minutos. Estes dois operadores dependem dos postos de trabalho que executam as fases de trabalho anteriores, pelo que irão ser sempre postos que terão de esperar por peças, tanto por que no início de trabalho não existem peças para fabricar, mas também pelo facto dos tempos de ciclo dos postos ser inferior ao tempo de ciclo dos postos onde as peças são transformadas inicialmente.

Tabela 3.13 - Resumo da situação inicial

OPERADOR	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	TOTAL (1,5 H)
TEMPO ESPERA	69 min	75 min	79 min	78 min	42 min	56 min	399 min
NÚMERO PEÇAS	400 peças	250 peças	500 peças	90 peças	200 peças	400 peças	1840 peças

O tempo de espera por operador foi calculado somando a zonas verdes, por operador, nos diagramas de *Gantt*. O tempo de espera total é a soma dos tempos de espera por operador. O número de peças feitas por operador é calculado multiplicando o número de peças por caixa, da Tabela 3.12 correspondente às máquinas que estão alocadas aos operadores, pelo número de vezes que o operador faz a troca de caixa, representado a laranja no diagrama de *Gantt*.

De forma a rentabilizar estes operadores, o próximo cenário terá um operador por peça. As peças que passam em mais do que um posto de trabalho, terão o mesmo operador nas diferentes fases.

- Análise dos tempos em trabalho e de espera por peça – cenário 1: **4 operadores**

Com 4 operadores no setor, estes distribuem-se da seguinte forma: OP1 (PT4 e PT6), OP2 (PT 3 e PT 5), OP3 (PT 2), OP4 (PT 1). De seguida é apresentado o diagrama de *Gantt* que representa as tarefas realizadas pelos 4 operadores durante um intervalo de tempo de 1,5 horas:

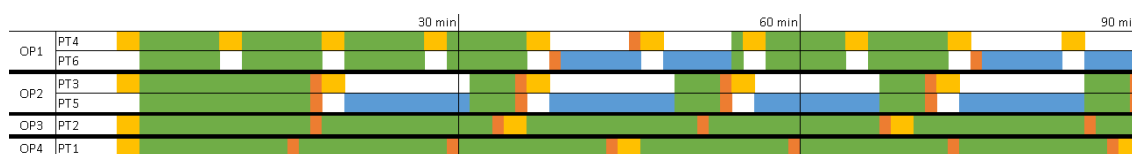


Figura 3.27 - Análise dos tempos por operador: cenário 1

O cenário 2 permitiu diminuir as zonas verdes que existiam pelo fato dos operadores que processam as peças na segunda fase de trabalho terem de estar à espera das peças que ainda estão na primeira fase de trabalho. Desta forma, o operador fica sempre com as mesmas peças, e enquanto não tem peças no 2º posto, vai abastecendo e preparando as coisas no primeiro posto.

As zonas a branco simbolizam que o operador em questão está ocupado com outras tarefas, no intervalo de tempo correspondente. De seguida é apresentada a Tabela 3.14 que resume os valores de tempo de espera e número de peças produzidas, por operador, para o cenário em estudo.

Tabela 3.14 - Resumo do cenário 1

OPERADOR	OP1	OP2	OP3	OP4	TOTAL (1,5 H)
TEMPO ESPERA	43 min	31 min	42 min	56 min	172 min
NÚMERO PEÇAS	600 peças	500 peças	500 peças	90 peças	1690 peças

O tempo de espera total diminuiu para metade (43%) com a utilização de um operador por artigo a ser transformado, independentemente do número de postos pelo qual o artigo passa. Existem ainda dois operadores que têm tempo de espera muito superior ao tempo de espera dos restantes (OP3 e OP4). Visualizando o diagrama de *Gantt* é possível emparelhar as tarefas dos dois operadores, passando a ser um único operador a trabalhar nos postos de trabalho das máquinas PT1 e PT2.

- Análise dos tempos em trabalho e de espera dos operadores em postos de trabalho de artigos diferentes – cenário 2: **3 operadores**

Com 3 operadores no setor, estes distribuem-se da seguinte forma: OP1 (PT4 e PT 6), OP2 (PT 3 e PT 5), OP3 (PT 1 e PT 2). De seguida é apresentado o diagrama de *Gantt* que representa as tarefas realizadas pelos 3 operadores durante um intervalo de tempo de 1,5 horas:

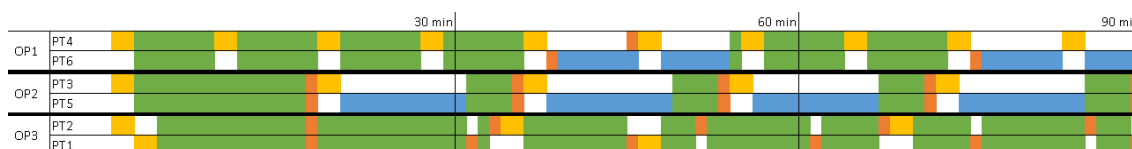


Figura 3.28 - Análise dos tempos por operador: cenário 2

Emparelhando as duas máquinas que restavam juntas, e segundo a Figura 3.28, é possível operar as duas máquinas. Esta solução apenas tem a desvantagem de uma das máquinas ter de ficar à espera de que o operador termine as ações na outra máquina, sendo que estão a ser feitas peças diferentes e por isso não é possível complementar o trabalho, como é o caso dos operadores 1 e 2.

Tabela 3.15 - Resumo do cenário 2

OPERADOR	OP1	OP2	OP3	TOTAL (1,5 H)
TEMPO ESPERA	43 min	31 min	70 min	144 min
NÚMERO PEÇAS	600 peças	500 peças	590 peças	1690 peças

Este cenário permite definir um outro: repartir as máquinas do operador 3, pelos operadores 1 e 2, visto que o operador 3 apenas realiza trabalhos de abastecimento e de recolha de caixas.

- Análise dos tempos em trabalho e de espera dos operadores – cenário 3: **2 operadores**

Com 2 operadores no setor, estes distribuem-se da seguinte forma: OP1 (PT 4 e PT 6), OP2 (PT 3 e PT 5). As máquinas PT 1 e PT 2 são entregues a cada um dos operadores, sendo possível combinar qual dos operadores é que fica com qual máquina. De seguida é apresentado o diagrama de *Gantt* que representa as tarefas realizadas pelos 2 operadores durante um intervalo de tempo de 1,5 horas:

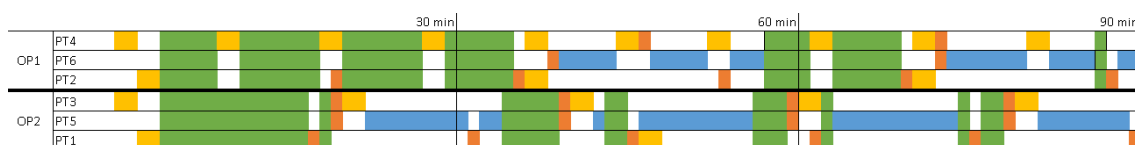


Figura 3.29 - Análise dos tempos por operador: cenário 3 a)

Tabela 3.16 - Resumo do cenário 3 a)

OPERADOR	OP1	OP2	TOTAL (1,5 H)
TEMPO ESPERA	36 min	28 min	64 min
NÚMERO PEÇAS	1300 peças	490 peças	1790 peças

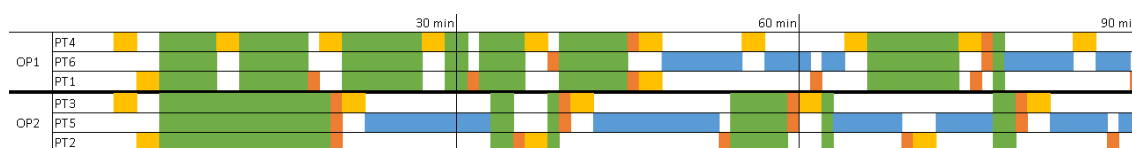


Figura 3.30 - Análise dos tempos por operador: cenário 3 b)

Tabela 3.17 - Resumo do cenário 3 b)

OPERADOR	OP1	OP2	TOTAL (1,5 H)
TEMPO ESPERA	39 min	26 min	65 min
NÚMERO PEÇAS	890 peças	900 peças	1790 peças

De seguida são apresentados dois gráficos, na Figura 3.31, que permitem resumir as informações recolhidas ao longo dos cenários que foram estudados.

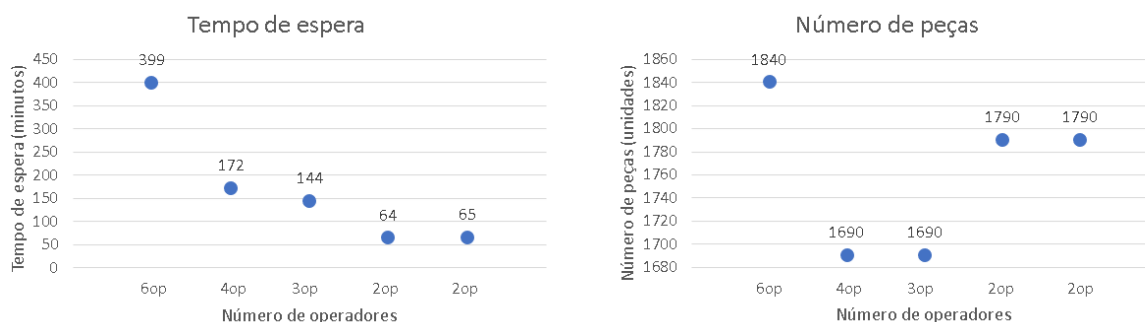


Figura 3.31 - Resumo dos diferentes cenários apresentados

O facto de haver menos pessoas faz com que o tempo em espera diminua, e no estudo realizado sempre que se reduzia o número de operadores também havia um decréscimo de tempo de espera durante 1,5 horas de trabalho. Não se pode dizer que a diminuição do tempo de espera é proporcional ao número de operadores porque não existe relação entre as duas variáveis, mas o número de operadores é um fator que leva à diminuição do tempo de espera. De 6 para 2 operadores o tempo de espera diminuiu 84%, face ao cenário inicial, sendo que o cenário 3 originou duas possibilidades de balanceamento que deram tempos de espera aproximados.

Para além disso, o acompanhamento do número de peças realizadas ao longo do tempo em que a simulação acontece permite perceber que o impacto da redução do número de trabalhadores também se faz sentir no número de peças feitas após 1,5 horas de trabalho.

O número de peças feitas diminui do cenário inicial para os restantes cenários. O motivo pelo qual esta situação acontece é que o facto de o operador estar em simultâneo em várias máquinas leva a que não consiga dar resposta imediata a falta de componentes ou a imprevistos que possam surgir durante a produção. Apesar disso, há uma diferença de apenas 150 peças a menos do cenário cuja produção foi mais baixa comparativamente ao cenário inicial, que depois é compensada em 50 peças nos cenários 3 a) e 3b).

O balanceamento realizado permitiu distribuir o trabalho do setor por um número de pessoas, de modo a rentabilizá-lo. A distribuição definida permite manter os níveis de produção, como é possível ver com o número de peças feitas por operador, de modo a cumprir com o tamanho e prazos das encomendas. Assim, é possível dar resposta a variações da procura, planeando o número de turnos necessários para o cumprimento das encomendas, diminuindo o número de operadores e consequentemente o tempo em que este estão à espera dos equipamentos.

3.5.4 Conclusões

Este capítulo enfatiza a importância de conhecer o tempo de ciclo para uma possível distribuição das pessoas pelos postos de trabalho. Começou-se por colocar um operador por máquina que revelou um elevado tempo de espera dos operadores pelas peças. Ter operadores para estarem à espera das máquinas é um desperdício e um custo enorme para as empresas.

Assim sendo é necessário procurar saber qual o número mínimo de pessoas necessárias para que todos os postos sejam operáveis. Através de diagramas de *Gantt* revelou que é possível ter as máquinas em estudo a funcionar com apenas duas pessoas. Estas pessoas dividem-se pelas máquinas do setor, sejam automáticas ou que precisem da intervenção do operador, mas assim a

produção torna-se mais eficaz, sendo usados menos recursos para obter os resultados do cenário em que existe um operador por máquina.

Para além disso, o balanceamento permite fazer face às variações da procura. Caso a procura aumente, é necessário aumentar o número de turno em que as máquinas estão operacionais. Caso a procura diminua, é possível desativar o equipamento que estava afeto ao produto cuja procura diminuiu, sem afetar o número de pessoas no setor.

O balanceamento dos postos de trabalho é importante, pois permite não ter máquinas paradas por falta de pessoas, mas também permite que não exista *stock* entre fases de trabalho. Sendo assim, o objetivo do balanceamento passa pela distribuição das tarefas pelos operadores, considerando que a capacidade produtiva assegura o cumprimento das encomendas normais.

Caso seja necessário escolher o número mínimo de operadores para operar com os equipamentos que fizeram parte do estudo, podemos concluir que dois operadores conseguem operar todos os equipamentos, diminuindo o tempo de espera pelos equipamentos e obtendo o número de peças satisfatório face ao cenário inicial.

Este estudo não foi acompanhado pela análise do layout da fábrica, mas é algo importante quando se pretende ter o número mínimo de pessoas para um número de máquinas. Não se torna vantajoso ter o número mínimo de operadores quando as deslocações entre as máquinas demoram muito tempo, pela distância entre elas. Neste caso, deve ser estudado um cenário em que se aproximem os equipamentos, para que o número mínimo de operadores consiga operar os equipamentos sem que a fadiga afete o rendimento.

Apesar do cenário 3 dispor de tempo de espera é necessário salientar que o acréscimo de equipamentos de forma a reduzir ainda mais o tempo de espera deve ser acompanhado com outra simulação e deve ser estudada no terreno para perceber o impacto das movimentações dos operadores ao longo do turno. Caso a distância percorrida entre equipamentos seja grande, o operador poderá precisar do tempo em que espera pelos equipamentos para fazer deslocações entre eles, pelo que possivelmente o tempo de espera acaba por ser zero, tendo em conta os movimentos necessários para chegar aos diferentes postos de trabalho.

Concluindo, é possível operar com os 6 equipamentos em estudo, com apenas 2 operadores, sendo que os equipamentos têm de estar em bom estado de funcionamento e não foram consideradas afinações no processo.

O balanceamento realizado permitiu distribuir o trabalho por um número de pessoas por forma a rentabilizar o setor. A distribuição definida permite cumprir com o tamanho e prazos das encomendas. Assim, é possível dar resposta a variações da procura, planeando o número de turnos necessários para o cumprimento das encomendas.

Capítulo 4 – Conclusões e trabalho futuro

Os objetivos aos quais este trabalho se propôs foram atingidos com sucesso. Nas diferentes temáticas foi possível obter conhecimento teórico que permitiu aplicar com sucesso as metodologias, de forma a obter os melhores resultados para a empresa onde foi realizado o trabalho prático.

Foi possível aumentar a capacidade produtiva de um posto de trabalho dedicado à produção de um produto com tendência crescente de consumo, através da análise dos tempos. Deu-se início à melhoria de tempos com a utilização de diversas ferramentas que permitiram identificar e melhorar o processo no qual foram aplicados os conceitos. Na célula de soldadura foi possível identificar todas as tarefas necessárias à soldadura dos componentes a partir de diagramas de processo. De modo a conhecer as precedências e a melhorar a produtividade do posto de trabalho, o diagrama de *Gantt* permitiu identificar o recurso gargalo e o impacto de cada tarefa no tempo de ciclo do posto. O diagrama VSM foi utilizado para compreender as atividades com valor acrescentado, no posto de trabalho. Como complemento, a metodologia SMED permitiu reduzir o tempo de tarefas que não tinham impacto no produto soldado, identificando e separando as tarefas de modo a identificar problemas de esperas ou de tempos longos de processo.

A combinação das 4 ferramentas permitiu obter ganhos para a empresa. Com o objetivo de diminuir o tempo de ciclo, a aplicação das diferentes ferramentas nas atividades e recursos da célula possibilitou um estudo pormenorizado dos desperdícios do posto, em tempos. Consequentemente, o aumento da capacidade produtiva foi possível de forma a satisfazer o aumento do consumo do componente. Assim sendo, as melhorias permitiram à empresa aliar o planeamento da produção com as variações de procura de modo a alocar os recursos necessários durante o tempo necessário de modo a responder às necessidades dos clientes.

Para alcançar o cenário melhorado foram definidas propostas para intervir nas diferentes tarefas da célula. Redução de caracteres, aumento da velocidade dos robots, eliminação de movimentos desnecessários dos robots e alteração da sequência de tarefas foram algumas das propostas implementadas que permitiram obter melhorias, das quais se destaca a diminuição do tempo de processamento e do *lead time* em 29% e 21% respetivamente.

As alterações feitas nas diversas atividades levaram à diminuição do tempo de ciclo, que após as alterações passou para os 15,83 segundos. Está acima do objetivo estabelecido da empresa (15 segundos), mas está abaixo do *takt time*, pelo que assim a célula responderá às necessidades de consumo. O facto de procurar conhecer as tarefas que são levadas a cabo para a obtenção dos artigos, permitiu identificar problemas que outrora estavam escondidos, que permitiram melhorar os tempos do posto de trabalho, alcançando os objetivos a que o trabalho se propõe.

Este capítulo permitiu concluir que as variações da procura podem ser respondidas com o estudo de tempos e das tarefas do posto de trabalho pelo qual passam os componentes cuja procura sofre variações, para tornar o processo flexível e assim responder às necessidades do mercado.

Adicionalmente, o estudo de tempos como método de melhoria de processos foi ainda aplicado noutros setores da empresa onde foi realizado o estudo prático. Exemplo disso foi a melhoria realizada num recurso gargalo cujos tempos de *setup* é elevado. Mais uma vez foi utilizada a metodologia SMED para conhecer as tarefas necessárias para a realização da mudança de referência. Foram identificadas as tarefas que podiam ser realizadas enquanto o equipamento

produzia as últimas peças necessárias, permitindo diminuir o tempo em que o equipamento está parado. O conhecimento das tarefas e a sensibilização dos operadores permite diminuir o tempo de mudança de referência em 9 minutos. Os resultados obtidos vieram através da sensibilização dos operadores para a necessidade de preparar o trabalho previamente, permitindo diminuir o tempo do equipamento parado.

Para além disso, foi possível encontrar uma sequência que permitia diminuir o tempo em mudanças de referência que poderá ser utilizado na produção como ajuda aos operadores, visto que passam a saber de forma mais facilitada aquilo que se planeia produzir.

Neste caso o conhecimento dos tempos permitiu diminuir o tempo em que o equipamento gargalo está parado pela necessidade de realizar mudanças no equipamento. A utilização da metodologia SMED poderia ter chegado à utilização de mecanismos que facilitem o trabalho aos operadores, mas não foi possível conhecer o equipamento em detalhe para tal melhoria.

Por fim, o conhecimento do tempo de ciclo dos equipamentos é uma mais valia para definir indicadores de produção. A produtividade é o indicador mais conhecido pela necessidade de fazer muito com pouco. Assim sendo, a última parte do trabalho culminou no estudo do número de operadores necessários para operar um conjunto de equipamentos, apenas através do conhecimento do tempo de ciclo dos diferentes equipamentos.

Com a ajuda de diagramas de *Gantt* foi possível balancear o trabalho de abastecimento, troca de caixas e postos de trabalho dedicados, a um número mínimo de operadores. Através do estudo é possível concluir, que para os equipamentos em estudo o número mínimo de operadores necessários é 2, sendo possível não ter nenhum equipamento parado por dificuldades do operador. Para o trabalho não foram considerados tempos de afinação nem paragens não programadas dos equipamentos.

Desta forma, é possível planejar a produção para responder às variações de procura. Caso se verifique um aumento da procura, é possível ativar turnos com o mesmo número de operadores. Caso exista uma diminuição da procura, basta avisar os operadores para não operarem com o equipamento que produz as peças em questão.

O estudo de tempos foi o foco do projeto. Desde do conhecimento da duração de tarefas a tempos de ciclo, foi possível traçar objetivos, definir cenários iniciais, analisar os problemas e planejar a implementação de propostas que permitissem diminuir os tempos de produção.

Para a realização deste trabalho foram definidos um conjunto de pressupostos devido às limitações que o projeto teve. Relativamente ao estudo de tempos realizado para diminuir o tempo de ciclo do posto de soldadura de componentes, não foi realizado um desenho de experiências de modo a que se encontre os melhores parâmetros de soldadura. Assim sendo, foram realizadas tentativas para reduzir tempos de operação, sem nenhum estudo prévio, mas sempre em consideração que os parâmetros do cliente têm de ser cumpridos. Para além disso, grande parte das alterações implicaram modificação de parâmetros em autómatos e controladores, de forma a reduzir as movimentações. Essas modificações foram realizadas por técnicos especializados, sendo que a nível de autómato não foi feito nenhum estudo. Não foi possível investigar um sistema de automatização das tarefas levadas a cabo pelo operador devido às diferentes geometrias dos componentes que da peça final.

A distância e tipos de movimentos realizados pelos operadores não foram tidos em conta na diminuição dos tempos, apesar de se reconhecer que são fatores que, quando melhorados, permitiram aumentar os ganhos. Para além disso, no trabalho de balanceamento de postos de

trabalho, a investigação da distância entre postos poderá resultar num resultado diferente do número mínimo de operadores a operar os equipamentos que foram analisados.

O impacto das paragens não planeadas (avarias) não foi objeto de estudo neste documento, sendo uma limitação pelo facto de terem sido feitas considerações que apenas são válidas em situações de funcionamento normal, sem a ocorrência de imprevistos;

Após a realização do projeto foram identificados trabalhos a realizar no futuro de forma a melhorar o trabalho realizado. No posto de soldadura sugere-se investigar a utilização do tempo da mesa da zona de abastecimento para a marcação de peças levando à eliminação do movimento das peças entre a mesa giratória e a marcadora. Esta proposta tem impacto na sequência das operações, em principal nas tarefas de abastecimento realizadas pelo operador, isto porque enquanto as peças são marcadas na zona de abastecimento, o operador não pode interagir com os restantes recursos.

No equipamento em estudo no tópico 3.4 sugere-se um estudo para o desenvolvimento de mecanismos que tornem mais rápidas as tarefas de mudança de referência. Sistemas que permitam a substituição de atado de tubo poupando tempo disponível, poderão levar a uma redução do tempo de paragem do equipamento e maior eficácia do trabalhador que opera o posto. No mesmo estudo, o número de referências e o número de dados recolhidos para a definição da sequência de produção, deve aumentar para que o resultado da sequência criada seja cada vez mais de encontro com as necessidades do setor, ao ponto de deixar de existir um planeamento do equipamento, passando a ser a sequência a ditar a produção, sem afetar os postos de trabalho por onde as peças cortadas têm de passar.

Por fim, o estudo do balanceamento do tópico 3.5 deve ser estendido às restantes máquinas automáticas do setor.

Referências

- Almeida, R. (2015). *Balanceamento de linhas de produção*. Universidade de Aveiro, Aveiro. Retrieved from <http://ria.ua.pt/handle/10773/15642>
- Alvarez, R. dos R., & Antunes Jr., J. A. V. (2001). Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. *Gestão & Produção*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2001000100002>
- Andrade, P. F., Pereira, V. G., & Del Conte, E. G. (2016). Value stream mapping and lean simulation: a case study in automotive company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(1–4), 547–555. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7972-7>
- Baines, A. (1995). Work measurement – the basic principles revisited. *Work Study*, 44(7), 10–14. <https://doi.org/10.1108/00438029510096553>
- Black, J. (2007). Design rules for implementing the Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3639–3664. <https://doi.org/10.1080/00207540701223469>
- Bukchin, J., Darel, E., & Rubinovitz, J. (1997). Team-oriented assembly system design: A new approach. *International Journal of Production Economics*, 51(1–2), 47–57. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00060-1)
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2006). *Gestão da Produção* (7th ed.). Lidel.
- Epedal S.A. (2017). *Manual de Acolhimento*.
- Esmaeilian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>
- Forno, A. J. D., Pereira, F. A., Forcellini, F. A., & Kipper, L. M. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(5–8), 779–790. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5712-z>
- Guimarães, R. C. de, & Cabral, J. S. C. (2011). *Estatística*. (Dashöfer Holding Ltd. e Verlag Dashöfer Lda., Ed.). Lisboa.
- Kellegöz, T. (2017). Assembly line balancing problems with multi-manned stations: a new mathematical formulation and Gantt based heuristic method. *Annals of Operations Research*, 253(1), 377–404. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2156-x>
- Lima, T. R. (2014). *Determinação do campo de tensões residuais e distorções resultantes de processos soldadura recorrendo ao Sysweld*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/76468>
- Lu, J.-C., & Yang, T. (2015). Implementing lean standard work to solve a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 53(8), 2285–2305. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937009>
- Martins, C. (2009). *Método estruturado para aplicação das técnicas de aumento da capacidade de produção de recursos gargalo em células de manufatura*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-23102009-080447/pt-br.php>
- Mason, R., Lind, D., & Marchal, W. (1994). *Statistics - An introduction* (4th ed.). Pensilvânia: Duxbury Press.
- Mastinez, L., & Ferreira, A. (2007). *Análise de Dados com SPSS*. Lisboa: Escolar Editora.
- Pacheco, D. A. de J. (2014). Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. *Production*, 24(4), 940–956. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000002>
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean* (6th ed.). Lidel.
- Project Management Institute. (2013). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos*

- (Guia PMBOK) (5th ed.).
- Rosa, M. J., Sá, P. M. de, & Sarrico, C. S. (2014). *Qualidade em Ação*. (Edições Sílabo, Ed.).
- Rother, M., & Shook, J. (2012). *Aprendendo a Enxergar*. Lean Institute Brasil.
- Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73(9–12), 1665–1694. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5944-y>
- Stevenson, W. J. (2005). *Operations Management* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. In *Procedia Engineering* (Vol. 97, pp. 1875–1885). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Wilson, J. M. (2003). Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*, 149(2), 430–437. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00769-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00769-5)

Anexos

Anexo I – Análise estatística aos dados recolhidos na célula de soldadura, com recurso ao SPSS*Os valores apresentados estão em segundos.*

Variável	Cenário	N	Média	%	Variância	Teste não paramétrico (KS: IC=95%)	Igualdade de Variâncias (Levene: IC= 95%)	Igualdade de Médias (t: IC=95%)
Tempo de Ciclo (TC)	Inicial	41	20,1037	↓ 21,3%	0,472	Sig=0,000 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig=0,006 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	79	15,8253		0,285			
Abastecimento de Chapa (A1)	Inicial	36	3,0808	↑ 4,4%	0,210	Sig=0,200 A distribuição da variável A1 é aproximadamente normal, com média 3,15 e desvio padrão 0,488.	Sig=0,833 As variâncias são semelhantes.	Sig=0,229 As médias são semelhantes.
	Melhorado	42	3,2150		0,260			
Abastecimento de Tubos (A2)	Inicial	27	8,1348	↓ 57,8%	0,150	Sig=0,000 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig=0,698 As variâncias são semelhantes.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	42	3,4298		0,156			
Abastecimento Componentes (A1 + A2)	Inicial	27	11,2270	↓ 40,8%	0,260			
	Melhorado	42	6,6448		0,407			
Segurar componentes (B)	Inicial	24	2,4617	↓ 9,7%	0,028	Sig=0,200 A distribuição da variável B é aproximadamente normal, com média 2,33 e desvio padrão 0,333.	Sig =0,000 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,005 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	29	2,2231		0,156			
Rotação (C)	Inicial	28	3,3171	↓ 14,3%	0,132	Sig=0,000 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig= 0,004 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	53	2,8419		0,063			
Soldadura (D)	Inicial	29	13,8176	↓ 2,5%	0,605	Sig=0,000 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig=0,229 As variâncias são semelhantes.	Sig=0,220 As médias são semelhantes.
	Melhorado	46	13,4715		1,883			
Remover p/ Marcadora (E2)	Inicial	50	4,0198	↓ 0,4%	0,46	Sig=0,200 A distribuição da variável E2 é aproximadamente normal, com média 4,02 e desvio padrão 0,294.	Sig= 0,000 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,889 As médias são semelhantes.
	Melhorado	16	4,0025		0,226			
Marcação (F)	Inicial	20	7,4835	↓ 29,9%	0,035	Sig=0,000 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig=0,031 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	34	5,2438		0,152			
Saída de peças (G)	Inicial	24	2,0063	↓ 24,9%	0,110	Sig=0,001 Os dados não seguem uma distribuição normal.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as variâncias serem iguais.	Sig=0,000 Rejeita-se a hipótese de as médias serem iguais.
	Melhorado	34	1,5059		0,041			

Anexo II - Folha de seguimento de produção

		FOLHA DE SEGUIMENTO DE PRODUÇÃO		Serrote: 04200015	
Data: ____/____/____					
T1	<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> Produção Planejamento Previsões Outros </div>	T2	<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> Produção Planejamento Previsões Outros </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> Produção Planejamento Previsões Outros </div>	
06:30	1 2 3	15:00	1 2 3	22:30	1 2 3
	20		20		
07:00		15:30		23:00	
07:30		16:00		23:30	
08:00		16:30		00:00	
08:30		17:00		00:30	
09:00		17:30		01:00	
09:30		18:00		01:30	
10:00		18:30		02:00	
10:30		19:00		02:30	
11:00		19:30		03:00	
11:30		20:00		03:30	
12:00	11	20:30	11	04:00	
12:30		21:00		04:30	
13:00		21:30		05:00	
13:30		22:00		05:30	
14:00		22:30		06:00	
14:30		23:00		06:30	
15:00	12	23:30	12		
Obs.		Obs.		Obs.	
Arranque		Arranque			
Refeição		Refeição			
Limpeza		Limpeza			
Referência	Peças OK	Referência	Peças OK	Referência	Peças OK
Sucata	Retrabalho	Sucata	Retrabalho	Sucata	Retrabalho
Total		Total		Total	
Operador: _____		Operador: _____		Operador: _____	
1	10 - Lanche	11	11 - Refeição	12	12 - Limpeza
2	20 - Arranque	21	21 - Troca de referência	22	22 - Trocar/colocar de Atado
25	25 - Mudança do disco	26	26 - Ensaio na FT seguinte	#	#
30	30 - Formação	31	31 - Qualidade	32	32 - Imprimir F.A.
35	35 - Troca de contentor/caixa	36	36 - Troca de paleta e ID	37	37 - Fuga de Água/Oleo
310	310 - Problemas com Água/Air/Energia	311	311 - Esperar pela Manutenção	312	312 - Pedir Material (armazém)
315	315 - Referenciar Serrote	316	316 - Problemas na passadeira	317	317 - Deslizamento de rodilhos
320	320 - Problemas no alimentador	321	321 - Falta de Oleo (Abastecimento)	322	322 - Falta de Água (Abastecimento)
324	324 - Avaria -> descrever avaria:	323	323 - Peça presa na máquina lavar	324	324 - Escolher/Olear peças
24	24 - Intervenção Manutenção (Preventiva)	34	34 - Troca de OF	39	39 - Auxiliar outro posto
318	318 - Recolha de peças cortadas do chão/cepilhos	319	319 - Problemas na máquina de lavar	#	#